



Autorità di Sistema Portuale
dei Mari Tirreno Meridionale
e Ionio

DOCUMENTO DI PIANIFICAZIONE ENERGETICO AMBIENTALE DEL SISTEMA PORTUALE DEI MARI TIRRENO MERIDIONALE E IONIO (Comma 2, Art.4-BIS, della Legge N.84/94 e ss.mm)

COMMITTENTE

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEI MARI TIRRENO MERIDIONALE E IONIO

PRESIDENTE

A.I. (CP) Andrea AGOSTINELLI

SEGRETARIO

Dott. Alessandro GUERRI

RUP

Ing. Maria Carmela DE MARIA

PROGETTAZIONE

Mandataria



Mandante



Mandante



TITOLO ELABORATO

ALLEGATO 1

**Analisi delle tecnologie per la decarbonizzazione del
Sistema Portuale MTMI**

Data

Marzo 2024

Rev.

Sommario

1. INTRODUZIONE	5
2. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FOTOVOLTAICO.....	6
2.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici nei porti del Sistema Portuale MTMI	7
2.1.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Gioia Tauro	7
2.1.2. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Crotona	10
2.1.3. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Vibo Valentia.	12
2.1.4. Sintesi dei risultati della valutazione di producibilità di energia elettrica da impianti fotovoltaici.....	14
3. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA EOLICO.....	15
3.1. Valutazione anemologica nei porti del Sistema Portuale MTMI	17
3.1.1. Valutazione anemologica Porto di Gioia Tauro	17
3.1.2. Valutazione anemologica Porto di Crotona	21
3.1.3. Valutazione anemologica Porto di Vibo Valentia	25
3.1.4. Valutazione anemologica Porto di Corigliano Calabro.....	28
3.1.5. Valutazione anemologica Porto di Taureana di Palmi	31
3.1.6. Sintesi dei risultati dell'analisi di producibilità energia elettrica da impianti eolici	34
3.2. Simulazione energetica impianto eolico nell'area portuale di Gioia Tauro	35
4. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA MOTO ONDOSO	38
5. IL RUOLO DELL'IDROGENO NELL'ECOSISTEMA PORTUALE.....	43
5.1. Lo sviluppo del vettore idrogeno in Italia.....	46
5.2. Iniziative regionali.....	48
5.3. Possibili impieghi dell'idrogeno nel sistema portuale.....	49
Bibliografia e sitografia.....	51
Indice delle figure	52
Indice delle tabelle.....	53

1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce ha l'obiettivo di fornire un approfondimento sulle tecnologie presenti a livello nazionale e internazionale per la produzione di energia da fonti rinnovabili, compatibili con le realtà portuali del Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio.

La produzione di energia da fonti rinnovabili risponde a quanto prescritto dal c.2, dell'art. 4Bis della Legge 84/1994 *"le Autorità di Sistema Portuale promuovono la redazione del Documento di Pianificazione Energetica ed Ambientale del Sistema Portuale con il fine di perseguire adeguati obiettivi, con particolare riferimento alla riduzione delle emissioni di CO₂"*. Ciò si allinea, inoltre, agli obiettivi di decarbonizzazione nel settore trasporti definiti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) [2], che stabilisce gli obiettivi nazionali energetici e ambientali al 2030. Rispetto all'energia rinnovabile, l'Italia intende perseguire un obiettivo di copertura al 2030 del 30% del consumo finale lordo di energia da fonti rinnovabili. In particolare, per il 2030 intende perseguire un consumo finale lordo di energia di 111 Mtep, di cui circa 33 Mtep da fonti rinnovabili.

Il presente allegato intende dunque approfondire alcune opportunità per il Sistema Portuale, relative a interventi finalizzati alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile che non risultano inclusi nelle categorie degli interventi energetico-ambientali così come sono definite dalle Linee Guida per la redazione del DEASP [1], in quanto su di essi non è stata eseguita un'analisi secondo le prescrizioni della normativa vigente in materia di valutazione di fattibilità e analisi costi-benefici. Gli interventi di cui si propone l'approfondimento sono della tipologia *"interventi attualmente non supportati da progettazione preliminare né da parte di soggetti privati né pubblici di cui si valuta una potenziale implementazione"*.

Nello specifico si analizzano le seguenti opportunità:

- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **fotovoltaico**;
- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **eolico**;
- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **moto ondoso**;
- Il ruolo dell'**idrogeno** nell'ecosistema portuale.

Per ognuna di queste tecnologie è stata realizzata una valutazione estimativa, i cui risultati sono riportati di seguito.

L'obiettivo è quello di fornire una fotografia preliminare sullo sviluppo potenziale di tali interventi, che potranno essere oggetto di ulteriori analisi approfondite per eventuali implementazioni future.

2. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FOTOVOLTAICO

L'energia solare per la generazione di potenza elettrica sta assumendo un ruolo sempre più importante a livello nazionale e mondiale per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. La presente analisi si inserisce a supporto dello sviluppo delle misure inserite nel Documento di Pianificazione Energetico Ambientale del Sistema Portuale (DEASP), quali la *"Promozione e costituzione di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) in ambito portuale"* e *"L'implementazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili (FER)"*. La normativa vigente in materia di Comunità Energetiche Rinnovabili ha riconosciuto ai porti italiani lo status di comunità energetiche, per favorire anche in queste aree una transizione a sostegno delle energie provenienti da fonti rinnovabili. La creazione di una Comunità Energetica Rinnovabile in ambito portuale rappresenta un importante strumento per la promozione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili e per la costituzione di una "comunità portuale" attenta e consapevole, che agisce in modo coordinato per conciliare i propri obiettivi di sviluppo industriale con quelli di riduzione delle emissioni locali associate alle proprie attività. L'Autorità di Sistema Portuale MTMI intende promuovere la costituzione di una Comunità Energetica Rinnovabile (CER), ai sensi della normativa vigente, in ciascun ambito del Sistema Portuale al fine di attivare investimenti, propri o di terzi, orientati all'installazione di impianti di produzione da fonti rinnovabili nelle aree portuali.

Pertanto, è stata sviluppata una valutazione per l'installazione nelle aree portuali di impianti fotovoltaici sulle coperture dei fabbricati e, laddove indicato dall'AdSP, a terra. L'approccio adottato per l'analisi è stato di tipo territoriale, utilizzando la strumentazione GIS (*Sistema Informativo Geografico*) che ha permesso di realizzare una mappatura dell'irraggiamento solare e della potenziale produzione di energia da fotovoltaico sfruttando le superfici disponibili nelle aree portuali considerate.

La produzione delle mappe solari è il risultato di una serie di elaborazioni effettuate a partire dalle mappe dell'orografia del territorio, i DTM (Digital Terrain Model), messi a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Tramite l'uso del software *QGIS v.3.22 'Białowieża'*, dalla distribuzione delle quote è stato possibile calcolare la radiazione solare incidente sul suolo delle aree portuali dell'AdSP dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio e conseguentemente l'irraggiamento solare annuale [kWh/m²/anno] e la potenziale produzione di energia da fotovoltaico annuale [kWh/anno].

Nei successivi capitoli, si riportano i risultati ottenuti dall'analisi dell'opportunità di installazione di impianti fotovoltaici nelle aree portuali di Gioia Tauro, Crotone e Vibo Valentia.

Si sottolinea che la presente analisi è finalizzata ad una valutazione preliminare sulla fattibilità di tale intervento, svolta a partire da dati pubblici e da informazioni planimetriche fornite direttamente dall'AdSP, da cui sono state ricavate considerazioni estimative sulla potenziale producibilità di energia elettrica da impianti fotovoltaici nel Sistema Portuale. Un'analisi più puntuale e dettagliata dovrebbe essere svolta in una fase successiva per valutare la reale fattibilità dell'intervento in questione.

2.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici nei porti del Sistema Portuale MTMI

La prima fase di studio per la valutazione dell'intervento fotovoltaico è stata l'analisi solare del territorio a partire dalla mappa orografica del terreno, il DTM, resa disponibile dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia¹. Dopo aver ristretto l'area di indagine alle aree dei tre porti, Gioia Tauro, Crotona e Vibo Valentia, è stata calcolata la radiazione solare globale in base alle caratteristiche geomorfologiche, quali pendenza, esposizione e andamento della superficie, e al flusso di radiazione solare incidente sul suolo. L'analisi solare ha permesso di definire un valore medio di irraggiamento solare annuale [kWh/m²], relativamente al perimetro dell'area portuale. Nella seconda fase dell'analisi sono state individuate le superfici disponibili per l'installazione di impianti fotovoltaici, presenti all'interno delle aree portuali, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'Autorità Portuale, considerando il limite demaniale e d'ambito di competenza dell'AdSP. Si tratta per la maggior parte di superfici ricavabili dalle coperture degli edifici e in alcuni casi a terra (qualora espressamente indicate dall'Autorità Portuale). Dai valori dell'irraggiamento solare annuo e della superficie disponibile per l'installazione di impianti fotovoltaici è stata calcolata la producibilità potenziale di energia elettrica rinnovabile. Di seguito si riportano i risultati ottenuti, suddivisi per le singole aree portuali.

2.1.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Gioia Tauro

L'area portuale di Gioia Tauro presenta il limite demaniale e quello di ambito di competenza dell'AdSP non coincidenti per quanto riguarda la superficie a terra, come è mostrato dalla figura seguente. L'analisi è stata fatta prevedendo quindi due casi: in uno sono considerati i soli edifici e le aree a terra presenti entro i limiti demaniali, e nell'altro sono inclusi anche quelli presenti entro il limite dell'ambito di competenza dell'AdSP.

Dall'analisi solare emerge per il porto di Gioia Tauro un valore di **irraggiamento solare annuo pari a 2.180 kWh/m²**. La superficie potenzialmente disponibile per l'installazione del fotovoltaico è stata ricavata conteggiando sia le coperture degli edifici (considerando disponibile il 30% della superficie complessiva) sia superfici a terra (considerando disponibile il 90% della superficie complessiva). Considerando solo le superfici presenti entro i confini demaniali, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di circa 67.100 m² che arriva a circa 68.000 m² includendo anche le superfici comprese nell'ambito di competenza. Di questo valore complessivo, circa il 40%, è ricavabile dalle coperture degli edifici. A partire dai valori di superficie disponibile e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico che risulta di circa **15.400 MWh/anno** considerando il limite demaniale, e arriva a **15.600 MWh/anno** se si considera il confine dell'ambito di competenza dell'AdSP.

Dalle analisi dei consumi energetici del Porto di Gioia Tauro, contenute nel Documento di Pianificazione Energetico Ambientale (DEASP) del Sistema Portuale MTMI di cui è parte il presente allegato, emerge che per l'anno 2022, il consumo di energia elettrica del Porto è stato pari a 34.604 MWh, totalmente prelevata

¹ <https://tinality.pi.ingv.it/> Tarquini S., I. Isola, M. Favalli, A. Battistini, G. Dotta.

da rete elettrica nazionale. Ipotizzando di produrre circa 15.600 MWh/anno di energia da fotovoltaico, si riuscirebbe a coprire circa il **45% del fabbisogno di energia elettrica** del Porto. Nel caso, invece, si sfruttasse il potenziale di producibilità fotovoltaico riferito alla sola area demaniale si riuscirebbe a coprire il **44% del fabbisogno di energia elettrica**.

La figura seguente riporta gli edifici e le aree a terra considerate nell'analisi e il relativo dato del potenziale fotovoltaico in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica rinnovabile annuale producibile.

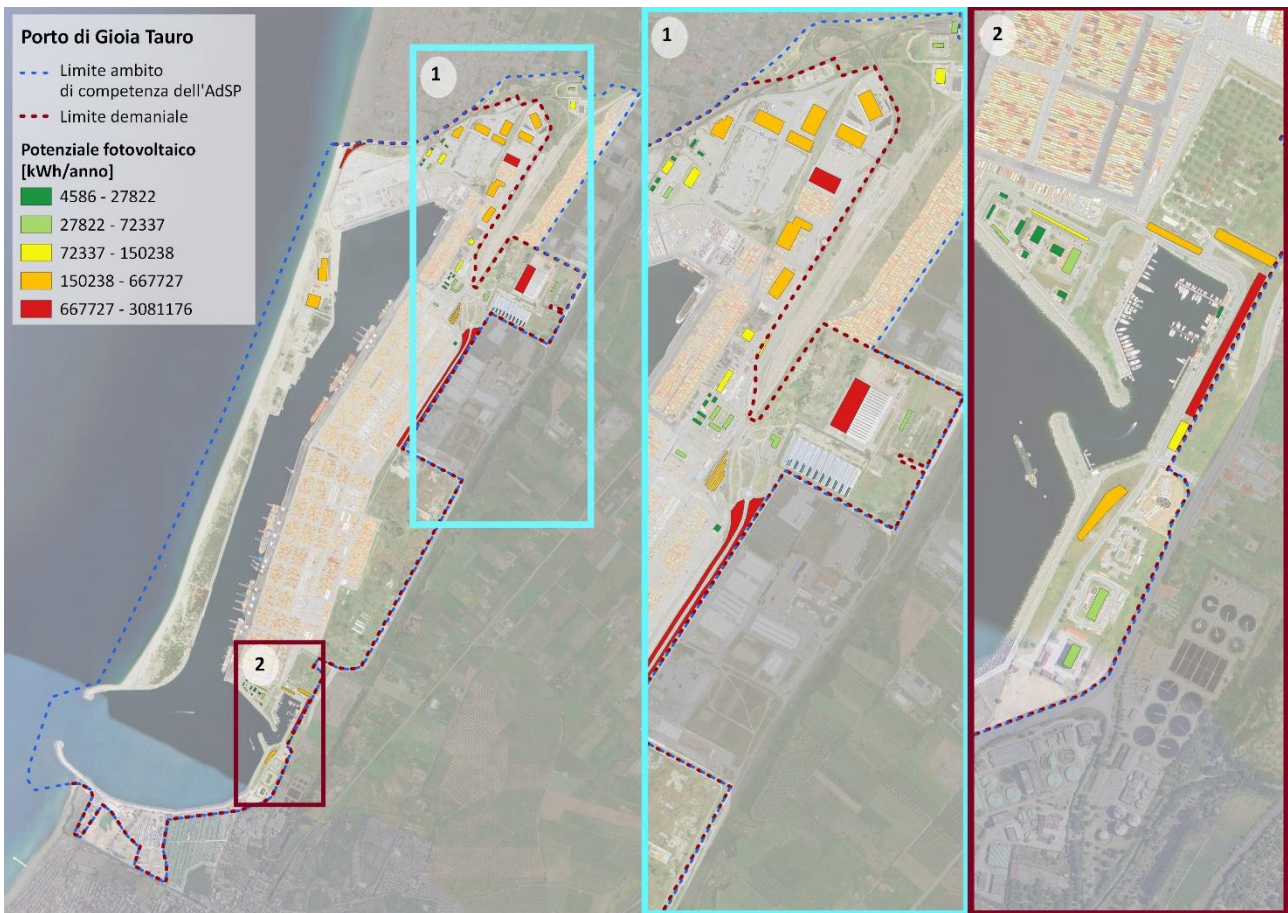


Figura 1 – Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili su coperture e superfici a terra.

		Ambito di competenza dell' AdSP	Area demaniale
Irraggiamento annuo	[kWh/m ² /anno]	2.180	
Superficie complessiva disponibile <i>(coperture degli edifici e superfici a terra)</i>	[m ²]	129.400	126.400
Superficie disponibile per installazione di fotovoltaico <i>(30% della superficie della copertura e 90% della superficie a terra)</i>	[m ²]	68.000	67.100
Potenziale fotovoltaico annuale	[MWh/anno]	15.600	15.400
Copertura fabbisogno energia elettrica da FV	%	45%	44%

Tabella 1 - Risultati dell'analisi per il Porto di Gioia Tauro.

2.1.2. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Crotona

Il Porto di Crotona presenta il limite demaniale e quello d'ambito di competenza dell'AdSP coincidenti per quanto riguarda la superficie a terra e di conseguenza anche gli edifici inclusi in tali aree sono i medesimi, per cui non è stato necessario suddividere i risultati dell'analisi rispetto ai confini portuali.

Il valore di **irraggiamento annuo** ricavato per l'area portuale di Crotona risulta pari **2.100 kWh/m²/anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici (considerando disponibile il 30% della superficie complessiva della copertura degli edifici) di circa 2.900 m². Dai valori della superficie disponibile e dell'irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico che risulta di circa **700 MWh/anno**.

Dalle analisi dei consumi energetici del Porto di Crotona, contenute nel DEASP del Sistema Portuale MTMI, emerge che per l'anno **2022**, il consumo di energia elettrica del Porto è stato pari a 127 MWh, totalmente prelevata da rete elettrica nazionale. Ipotizzando di produrre circa 700 MWh/anno di energia da fotovoltaico, si riuscirebbe a coprire **totalmente il fabbisogno di energia elettrica** del Porto.

La figura seguente riporta gli edifici considerati e il relativo dato del potenziale fotovoltaico in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica rinnovabile annuale producibile.



Figura 2 - Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili sulle coperture degli edifici.

		Area portuale ²
Irraggiamento annuo	[kWh/m ² /anno]	2.100
Superficie complessiva disponibile <i>(coperture degli edifici)</i>	[m ²]	9.660
Superficie disponibile per installazione di fotovoltaico <i>(30% della superficie delle coperture degli edifici)</i>	[m ²]	2.900
Potenziale fotovoltaico	[MWh/anno]	700
Copertura del fabbisogno energia elettrica da FV	%	550%

Tabella 2-Risultati dell'analisi per il Porto di Crotona.

² Limite dell'ambito di competenza dell'AdSP e limite demaniale coincidenti per le aree a terra.

2.1.3. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Vibo Valentia

Il Porto di Vibo Valentia ha il limite demaniale e quello d'ambito di competenza dell'AdSP non coincidenti per quanto riguarda l'area a terra, l'area demaniale è più estesa di quella d'ambito (considerando le sole aree a terra ed escluse quelle a mare), come è mostrato dalla figura seguente. L'analisi è stata fatta prevedendo quindi due casi: in uno sono considerati i soli edifici e le aree a terra presenti entro i limiti d'ambito, e nell'altro sono inclusi anche quelli presenti entro il limite demaniale.

Il valore di **irraggiamento annuo** ricavato per l'area portuale di Vibo Valentia risulta pari a **2.160 kWh/m²/anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area d'ambito di competenza dell'AdSP si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici (considerando disponibile il 30% della superficie complessiva della copertura degli edifici) di circa 2.500 m² che arriva a 3.600 m² considerando tutta l'area demaniale. Dai valori di superficie e di irraggiamento annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico che risulta pari a **570 MWh/anno**, considerando gli edifici dell'ambito di competenza, e pari a **800 MWh/anno** considerando l'intera area demaniale.

Dalle analisi dei consumi energetici del Porto di Vibo Valentia, contenute nel DEASP del Sistema Portuale MTMI, emerge che per l'anno 2022, il consumo di energia elettrica del Porto è stato pari a 496 MWh, totalmente prelevata da rete elettrica nazionale. Ipotizzando di produrre circa 800 MWh/anno di energia da fotovoltaico, si riuscirebbe a coprire **totalmente il fabbisogno di energia elettrica** del Porto.

La figura seguente riporta gli edifici considerati e il relativo dato del potenziale fotovoltaico in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica rinnovabile annuale producibile.

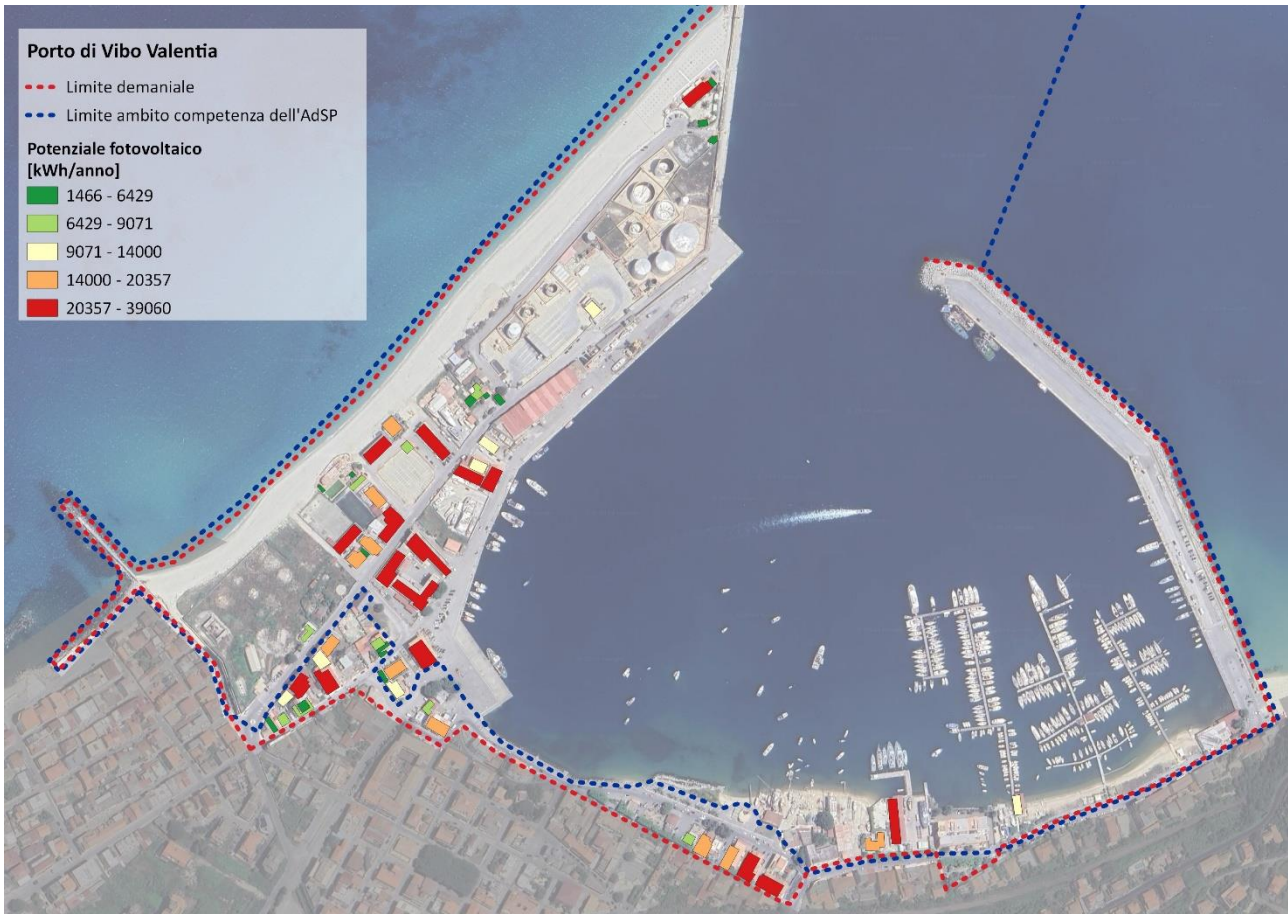


Figura 3 - Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili sulle coperture degli edifici.

		Area demaniale	Ambito di competenza AdSP
Irraggiamento annuo	[kWh/m ² /anno]	2.160	
Superficie complessiva disponibile <i>(coperture degli edifici)</i>	[m ²]	12.000	8.300
Superficie disponibile per installazione di fotovoltaico <i>(30% della superficie delle coperture degli edifici)</i>	[m ²]	3.600	2.500
Potenziale fotovoltaico	[MWh/anno]	800	570
Copertura del fabbisogno energia elettrica da FV	%	161%	115%

Tabella 3 - Risultati dell'analisi per il Porto di Vibo Valentia.

2.1.4. Sintesi dei risultati della valutazione di producibilità di energia elettrica da impianti fotovoltaici

L'analisi preliminare mostra che complessivamente nel Sistema Portuale MTMI, considerando le tre aree portuali, rispetto ai rispettivi confini più ampi, l'energia elettrica producibile da fotovoltaico è pari a **17.100 MWh/anno**, per la maggior parte riconducibile all'area portuale di Gioia Tauro, grazie alla maggiore superficie potenziale disponibile per l'installazione di impianti fotovoltaici.

Area portuale complessiva (demaniale e ambito di competenza AdSP)	Irraggiamento annuo	Superficie disponibile per installazione di fotovoltaico ³	Potenziale producibilità FV
	[kWh/m ² /anno]	[m ²]	[MWh/anno]
Porto di Gioia Tauro	2.180	68.000	15.600
Porto di Crotona	2.100	2.900	700
Porto di Vibo Valentia	2.160	3.600	800
Totale		74.500	17.100

Tabella 4 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico.

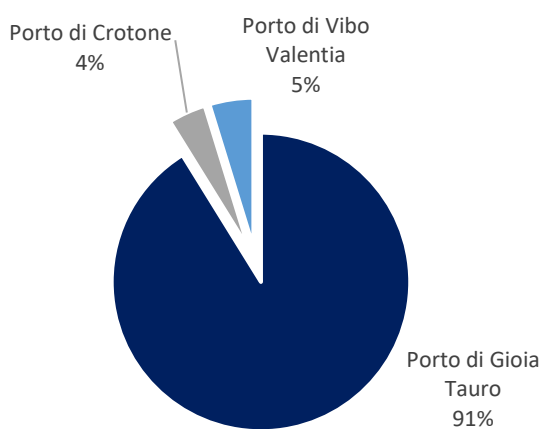


Figura 4 - Ripartizione del potenziale fotovoltaico tra le tre aree portuali del Sistema Portuale MTMI.

Dalle analisi dei consumi energetici dei tre Porti considerati, contenute nel Documento di Pianificazione Energetico Ambientale (DEASP) del Sistema Portuale MTMI, emerge che per l'anno 2022, il consumo di energia elettrica complessivo è stato pari a 35.227 MWh, totalmente prelevata da rete elettrica nazionale e pari alla quasi totalità del consumo di energia elettrica del Sistema Portuale (che comprende anche i Porti di Corigliano Calabro e Taureana di Palmi). Ipotizzando di produrre circa 17.000 MWh/anno di energia rinnovabile, si riuscirebbe a coprire il **49% del fabbisogno di energia elettrica** del Sistema Portuale.

³ Pari al 30% della superficie delle coperture degli edifici e al 90% delle aree a terra.

3. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA EOLICO

I sistemi di generazione di elettricità da energia eolica costituiscono ormai una tecnologia matura con elevati livelli di competitività rispetto ai generatori di potenza da combustibili fossili.

Gli impianti eolici e mini-eolici, sia ad asse orizzontale che verticale, infatti, possono rappresentare una soluzione da implementare anche in ambito portuale in presenza di adeguati valori anemometrici.

Il funzionamento di una turbina eolica per produzione di energia elettrica avviene in un intervallo di velocità del vento compreso tipicamente tra 4 m/s (velocità di *cut-in*) e 25 m/s (velocità di *cut-off*), con potenza crescente fino alla saturazione in corrispondenza del valore nominale intorno a 12-16 m/s.

Turbine eoliche di grandi dimensioni risultano essere più interessanti per installazioni *off-shore* e *near-shore* negli ambiti portuali analizzati nel presente documento.

Gli impianti mini-eolici che utilizzano generatori di altezza inferiore a 30 metri consentono invece di operare con regimi di vento inferiori a quelli richiesti dai grandi impianti e potrebbero essere la tipologia più indicata per installazioni *on-shore* in ambito portuale.

Le tecnologie di turbine mini-eoliche disponibili sul mercato sono estremamente diversificate e vengono generalmente classificate in base alla disposizione dell'asse di rotazione:

- ad asse orizzontale (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines)
- ad asse verticale (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines).

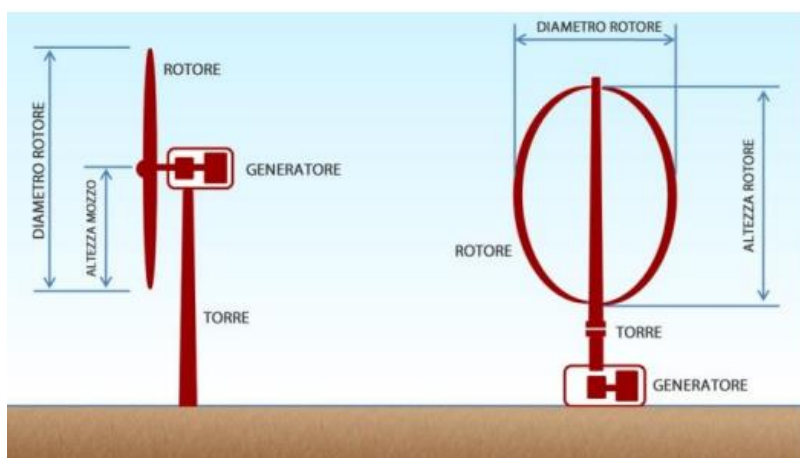


Figura 5 - Esempi turbine ad asse orizzontale e ad asse verticale (Fonte: FIRE)

La prima tipologia è la più nota e diffusa; tuttavia i generatori ad asse verticale ultimamente sono diventati oggetto di studio e ricerche soprattutto in riferimento alle piccole potenze.

Attualmente, infatti, le turbine per il medio e grande eolico (>200 kW) disponibili commercialmente sono quelle ad asse orizzontale, mentre nel minieolico (20 kW-200 kW) e nel microeolico (0-20 kW) troviamo anche una varietà di turbine ad asse verticale. L'ulteriore classificazione delle turbine è basata, per impianti eolici ad asse orizzontale, su vari elementi (taglia, numero di pale, design, etc.), mentre per l'eolico ad asse verticale è basata soprattutto sul design.

Tra i generatori ad asse orizzontale, in base alla posizione del piano rotorico, a seconda che sia a monte o a valle della navicella del generatore, è possibile distinguere:

- HAWT UPWIND: soluzione maggiormente utilizzata, il rotore trovandosi a monte della navicella, viene investito direttamente dal flusso d'aria.
- HAWT DOWNWIND: poiché il piano rotorico è disposto a valle della navicella, la scia della torre e della navicella stessa disturbano il flusso incidente sul rotore. A causa del costante passaggio delle pale davanti alla torre dell'aerogeneratore, esse saranno soggette ad un ciclo di fatica. Il vantaggio è che esse sono auto-allineanti rispetto alla direzione del vento.

La configurazione VAWT presenta il vantaggio che il generatore elettrico è posto nella base e quindi il suo peso non deve essere sostenuto dalla torre.

Le pale sono realizzate in materiale composito, rinforzato in fibre di vetro o di carbonio, oppure in alluminio. Le turbine VAWT sono inoltre più adatte a un utilizzo in aree urbane in quanto generano livelli di rumore inferiori a quelli delle HAWT, in genere compresi tra i 35 e i 45 dB.

Per quanto concerne le tecnologie potenzialmente installabili nei siti portuali oggetto di analisi, un intervento che potrebbe essere valutato e che potrebbe contribuire alla riduzione di energia prelevata dalla rete consiste nell'installazione di turbine ad asse verticale, eventualmente in corrispondenza delle torri faro.

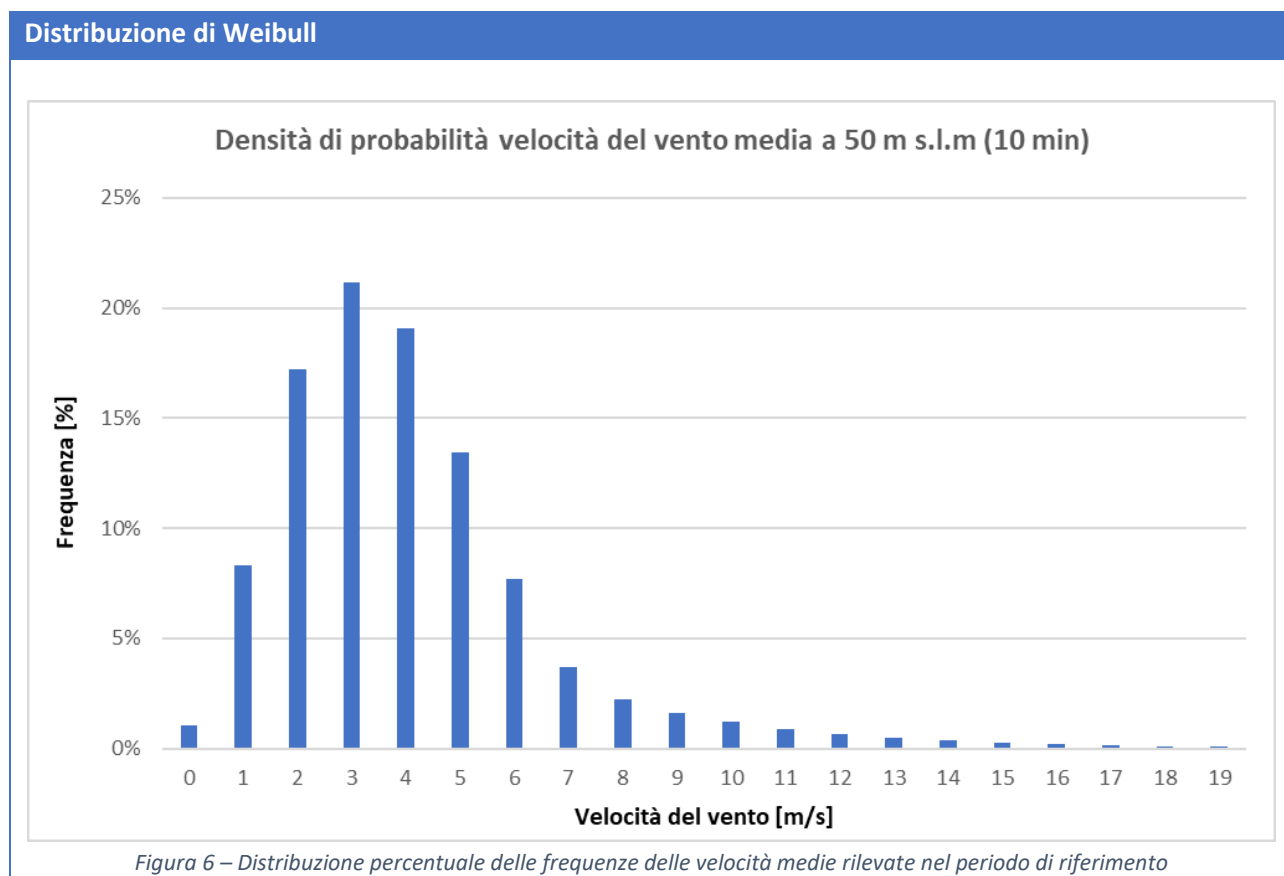
La producibilità di un impianto eolico è legata alla disponibilità del vento, espressa in funzione della distribuzione di frequenza e della durata della velocità del vento. Non è pertanto sufficiente conoscere la velocità media del vento in un sito per stimare la quantità di energia elettrica producibile; occorre conoscere l'intera distribuzione del vento nel tempo. È possibile affidarsi a un'analisi preliminare e successivamente attivarsi per una campagna anemometrica al fine di comprovare con dati oggettivi le valutazioni preliminari. È il caso di evidenziare che la campagna è inoltre richiesta obbligatoriamente per ottenere autorizzazioni ambientali.

Al fine di valutare l'opportunità di installazione di sistemi di generazione da energia eolica si è proceduto ad effettuare un'analisi preliminare della disponibilità del vento nei diversi ambiti portuali del Sistema Portuale dei Mari Tirreno Meridionale e Ionio, analizzando i dati rilevati dalle stazioni anemometriche più prossime ai siti considerati.

3.1. Valutazione anemologica nei porti del Sistema Portuale MTMI

3.1.1. Valutazione anemologica Porto di Gioia Tauro

Nel presente paragrafo si riportano i risultati emersi dall'analisi dei dati anemologici rilevati dai sensori installati su alcune gru presso il terminal MCT all'interno dell'area portuale di Gioia Tauro. Tali dati sono disponibili per triennio 2019-2020-2021 e riportano le misure di intensità del vento espresse in (m/s) rilevate ogni 10 minuti.



Dall'analisi dei dati anemologici si evince che nell'ambito portuale di Gioia Tauro l'intensità del vento prevalente nel periodo analizzato risulta essere compresa tra i 3 e i 4 m/s.

Si riportano di seguito alcune valutazioni realizzate col **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE con l'obiettivo di fornire informazioni sulla distribuzione generale delle risorse eoliche sul territorio italiano ed aiutare ad individuare le aree dove tali risorse possono essere interessanti per lo sfruttamento energetico. Nelle analisi sotto-riportate si è valutata la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (on-shore e off-shore).

Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*

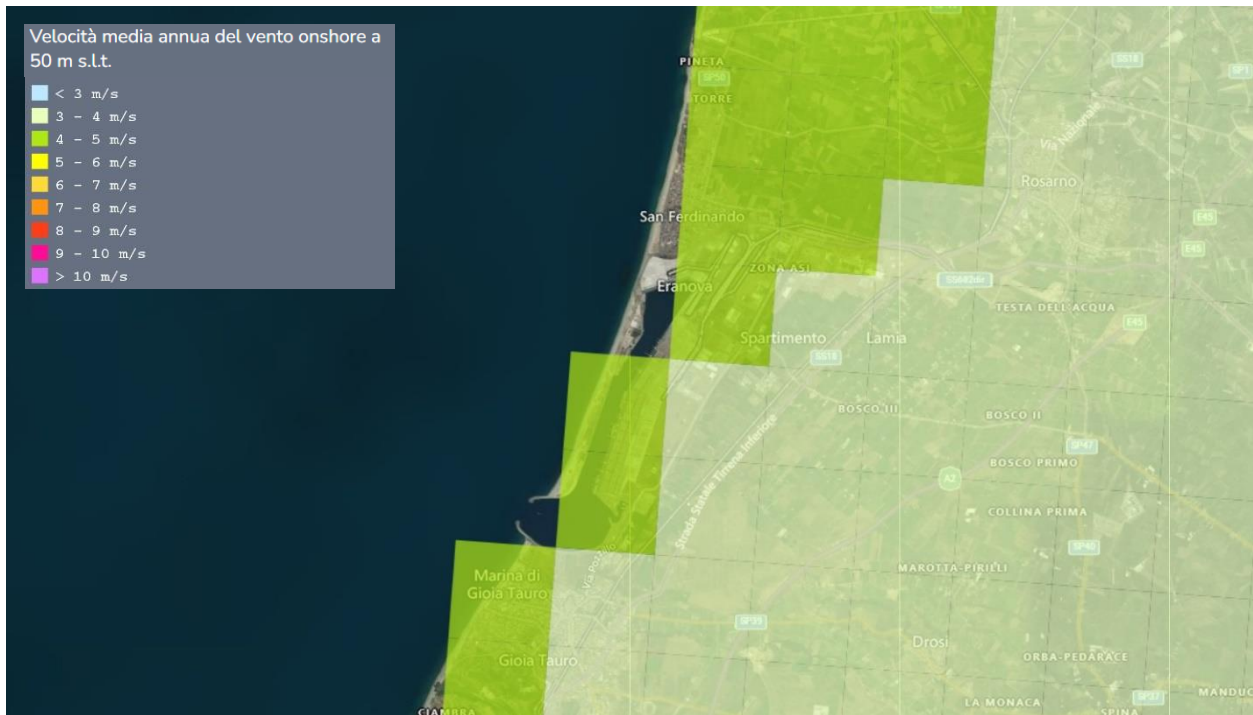


Figura 7 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t

Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*



Figura 8 – Velocità media annua del vento off-shore a 50 m s.l.m

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

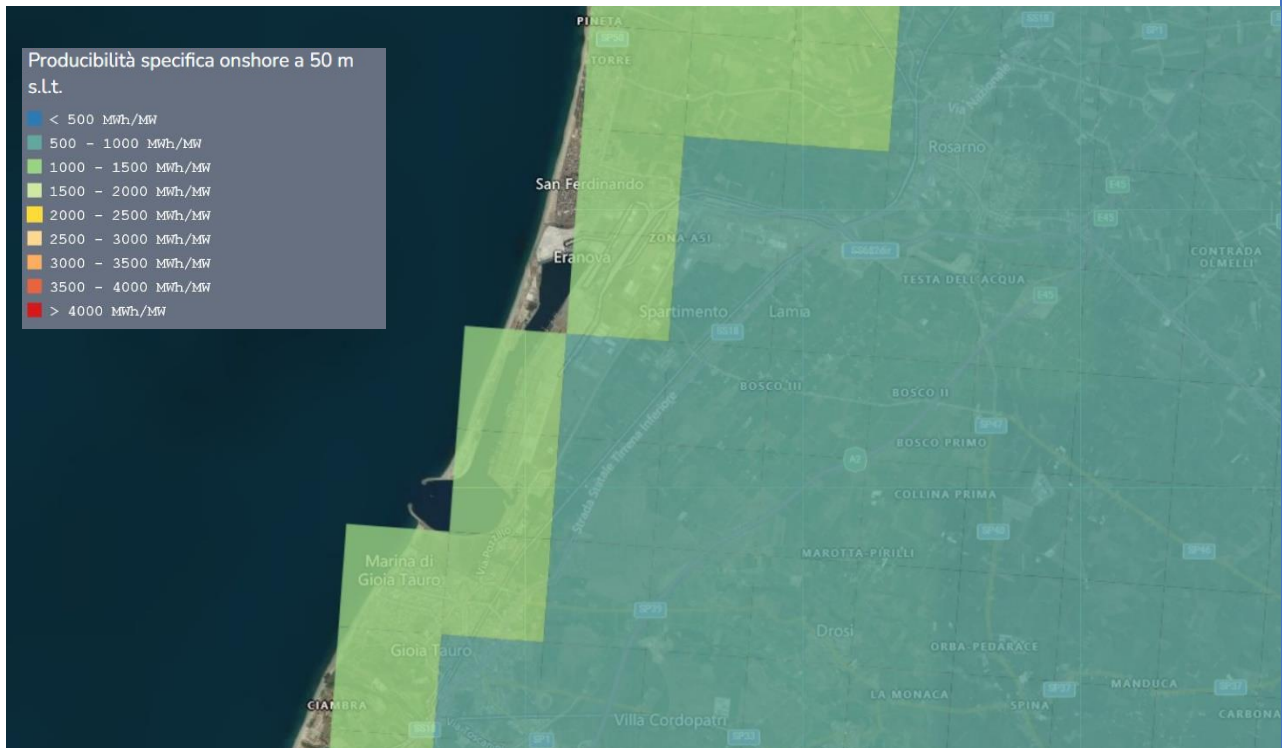


Figura 9 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

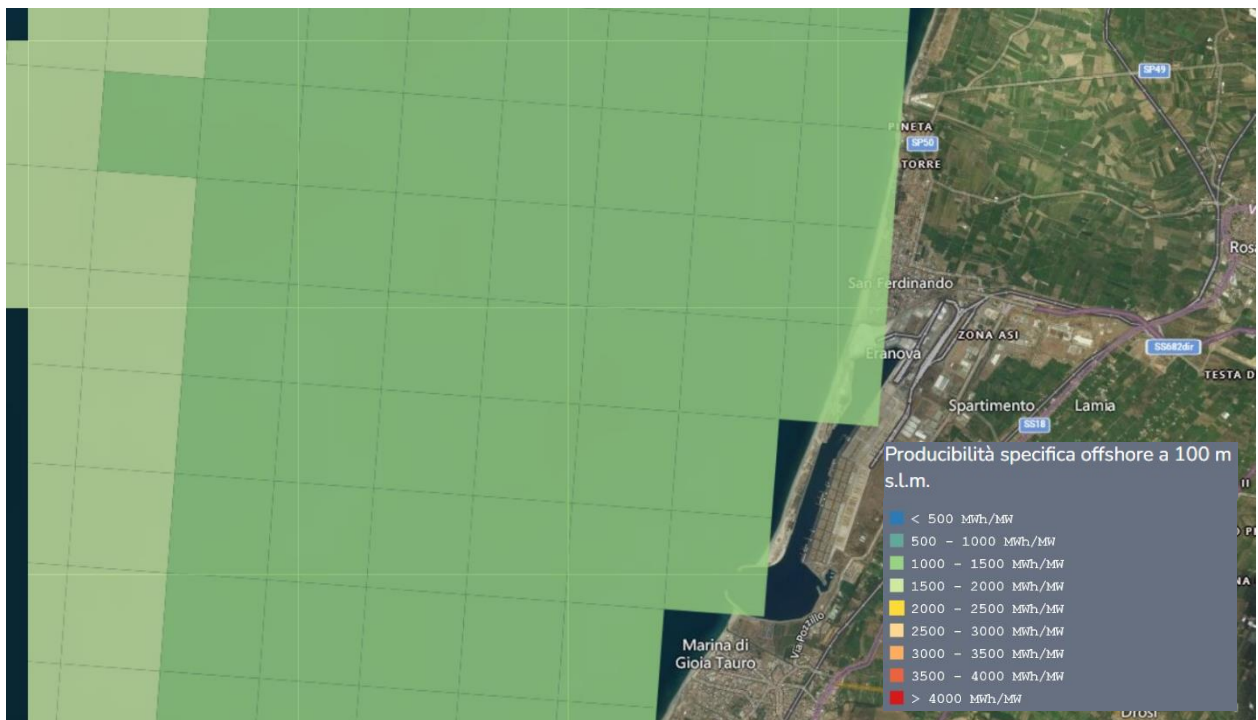


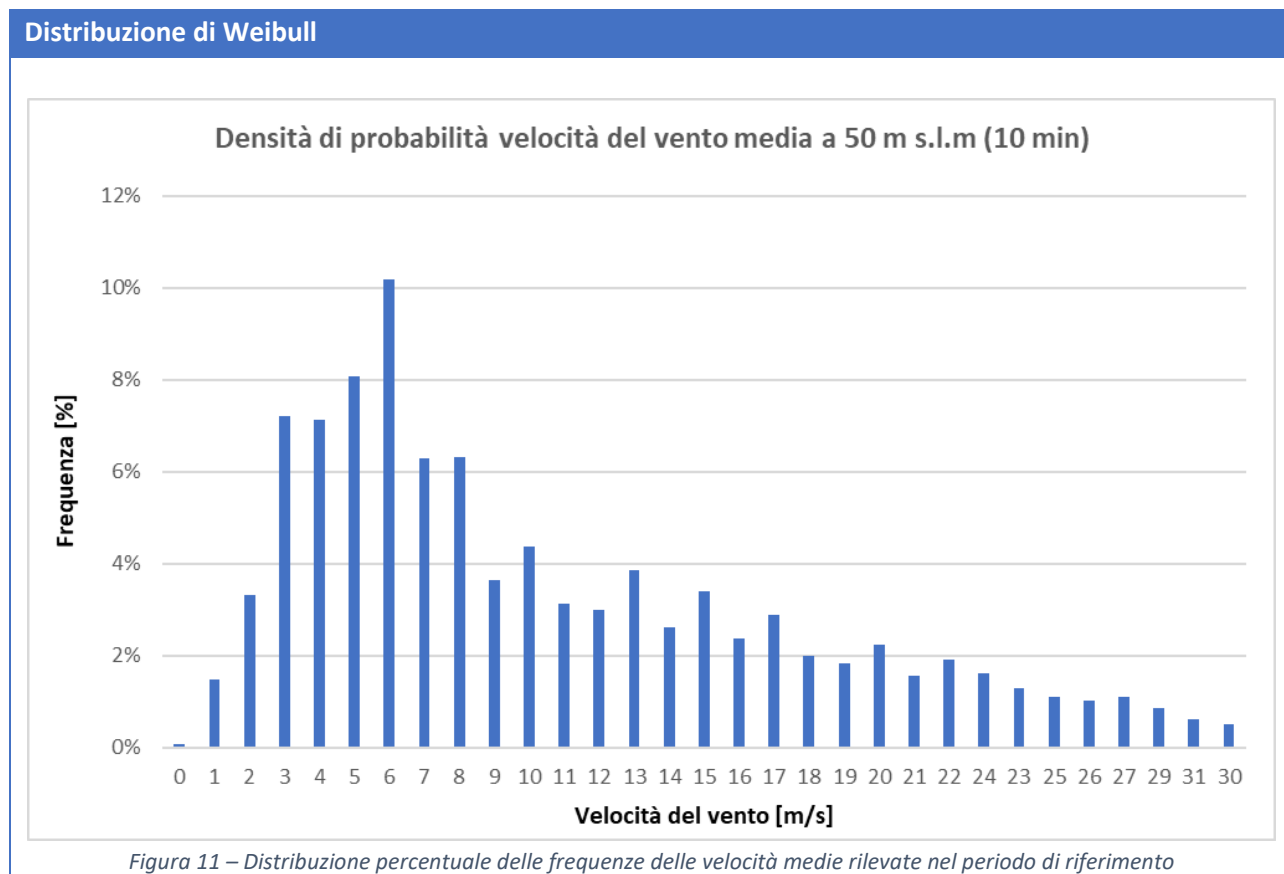
Figura 10 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m

I dati rilevati dai sensori installati sulle gru STS di MCT risultano coerenti con quelli riportati dal portale AEOLIAN. Il sito di Gioia Tauro è caratterizzato da una velocità media del vento compresa tra i **3 e 5 m/s** sia in ambito *on-shore* che in quello *off-shore* ed una producibilità specifica compresa tra i **1.000 e i 1.500 MWh/MW** di impianto eolico installato.

3.1.2. Valutazione anemologica Porto di Crotona

Nel presente paragrafo si riportano i risultati emersi dall'analisi dei dati anemologici rilevati dalla stazione di Crotona della Rete Mareografica Nazionale, situata presso il porto.

Sono stati analizzati i dati rilevati ogni 10 minuti per gli anni 2010, 2015, 2020, 2021 e 2022.



Dall'analisi dei dati anemologici si evince che nell'ambito portuale di Crotona l'intensità del vento prevalente nel periodo analizzato risulta essere compresa tra i 5 e i 6 m/s.

Si riportano di seguito alcune valutazioni realizzate col **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE con l'obiettivo di fornire informazioni sulla distribuzione generale delle risorse eoliche sul territorio italiano ed aiutare ad individuare le aree dove tali risorse possono essere interessanti per lo sfruttamento energetico. Nelle analisi sotto-riportate si è valutata la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (on-shore e off-shore).

Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*

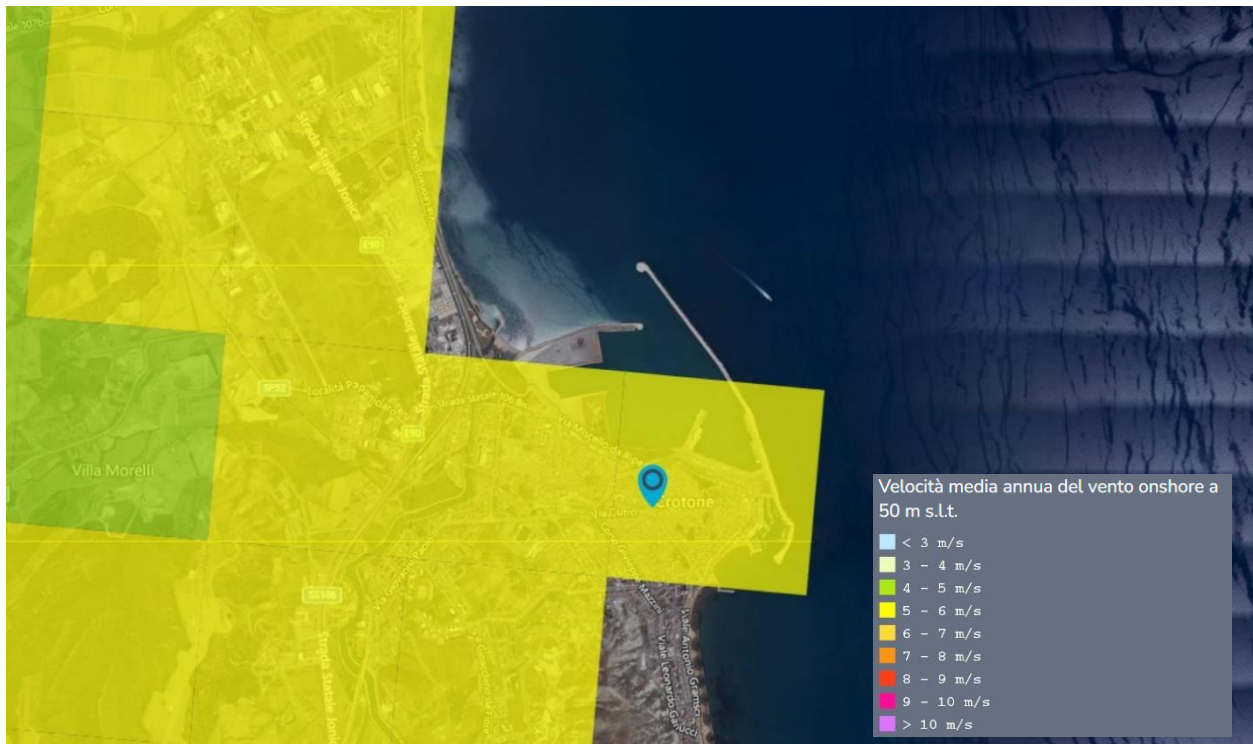


Figura 12 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t

Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

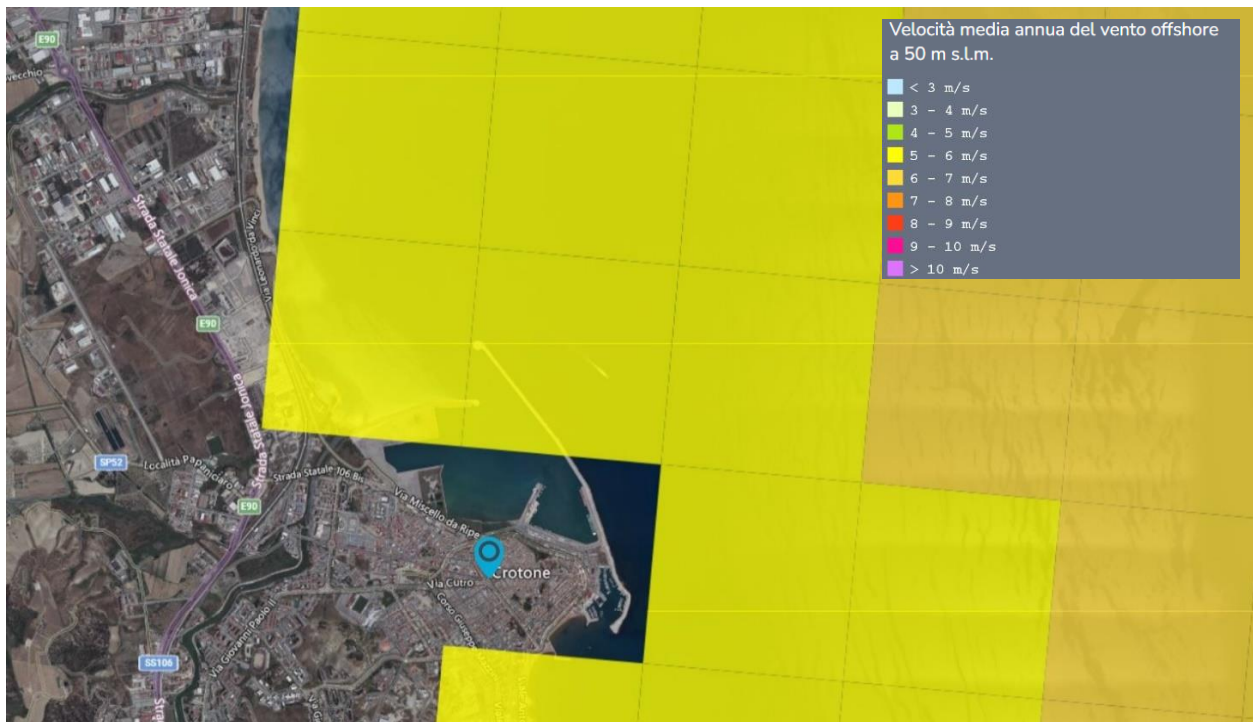


Figura 13 – Velocità media annua off-shore a 50 m.s.l.m

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

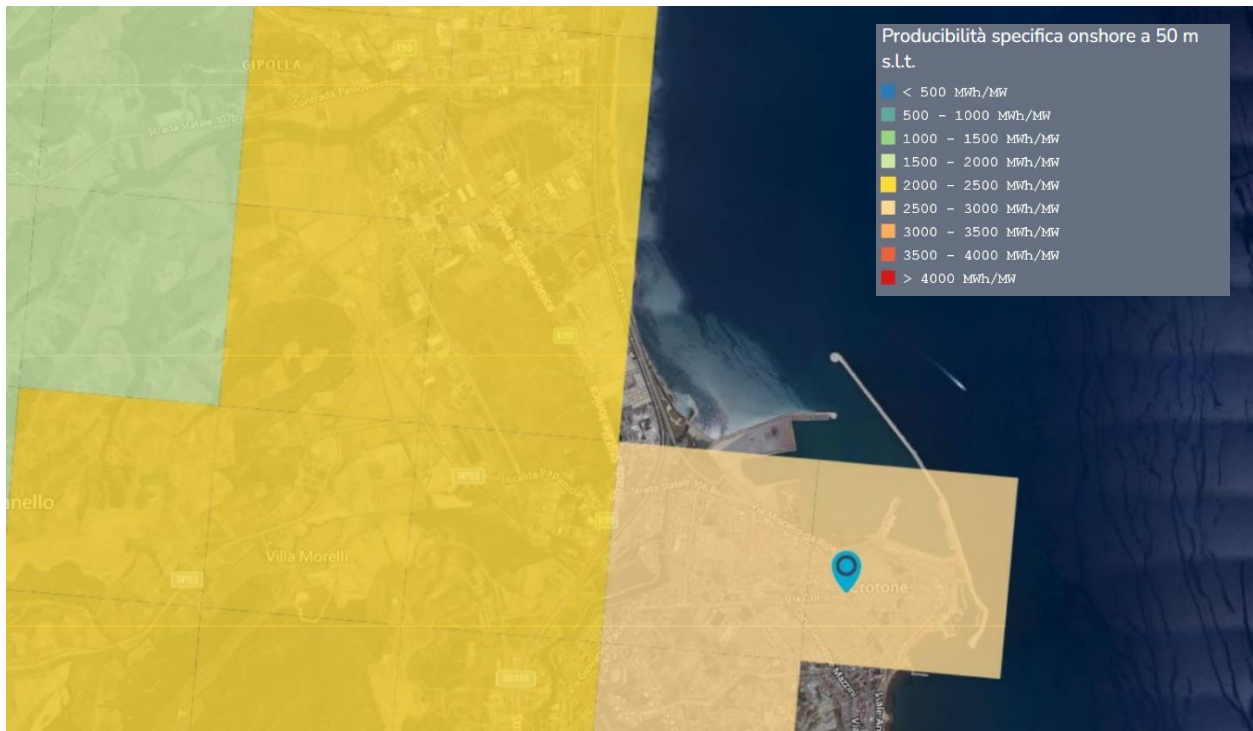


Figura 14 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*



Figura 15 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m

I dati rilevati dalla stazione della RMN situata presso il porto di Crotona risultano coerenti con quelli riportati dal portale AEOLIAN. Il sito di Crotona è caratterizzato da una velocità media del vento compresa tra i **5 e i 6 m/s** sia in ambito *on-shore* che in quello *off-shore* ed una producibilità specifica compresa tra i **2.500 e i 3.000 MWh/MW** di impianto eolico installato.

3.1.3. Valutazione anemologica Porto di Vibo Valentia

Nel presente paragrafo si riportano i risultati emersi dall'analisi dei dati anemologici registrati nel **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE con l'obiettivo di fornire informazioni sulla distribuzione generale delle risorse eoliche sul territorio italiano ed aiutare ad individuare le aree dove tali risorse possono essere interessanti per lo sfruttamento energetico. Nelle analisi sotto-riportate si è valutata la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).

Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*



Figura 16 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t

Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*



Figura 17 – Velocità media annua off-shore a 50 m s.l.m.

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*



Figura 18 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

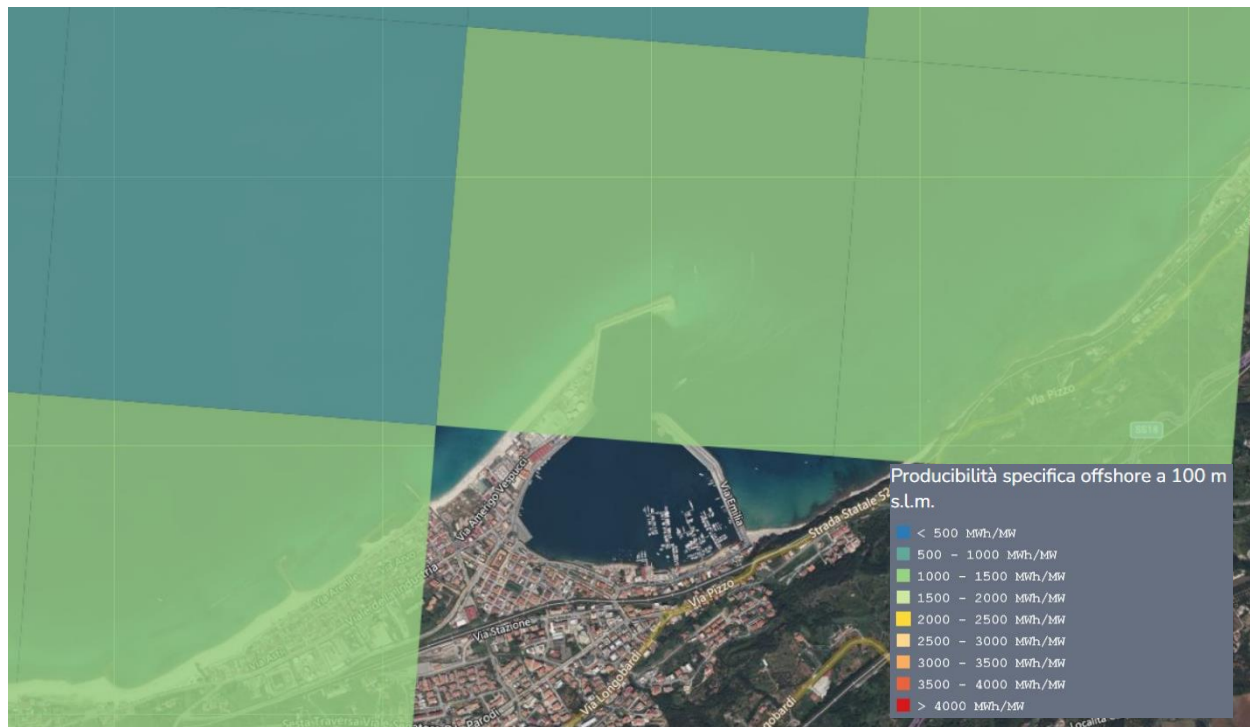
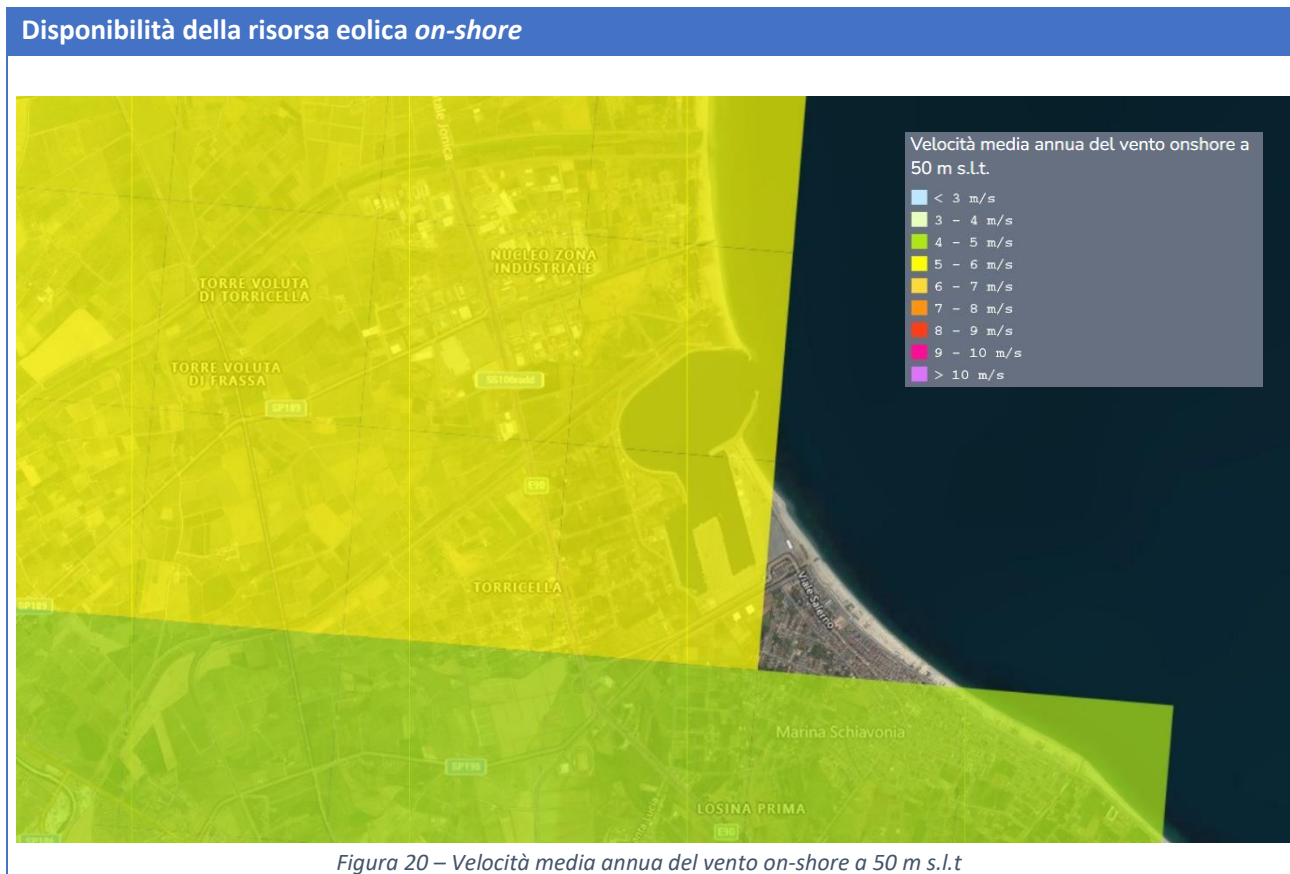


Figura 19 – Producibilità specifica *off-shore* a 100 s.l.m

Il sito di Vibo Valentia risulta essere caratterizzato da una velocità media del vento compresa tra i **3 e i 5 m/s** sia in ambito *on-shore* che in quello *off-shore* ed una producibilità specifica compresa tra i **1.000 e i 1.500 MWh/MW** di impianto eolico installato.

3.1.4. Valutazione anemologica Porto di Corigliano Calabro

Nel presente paragrafo si riportano i risultati emersi dall'analisi dei dati anemologici registrati nel **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE con l'obiettivo di fornire informazioni sulla distribuzione generale delle risorse eoliche sul territorio italiano ed aiutare ad individuare le aree dove tali risorse possono essere interessanti per lo sfruttamento energetico. Nelle analisi sotto-riportate si è valutata la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).



Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

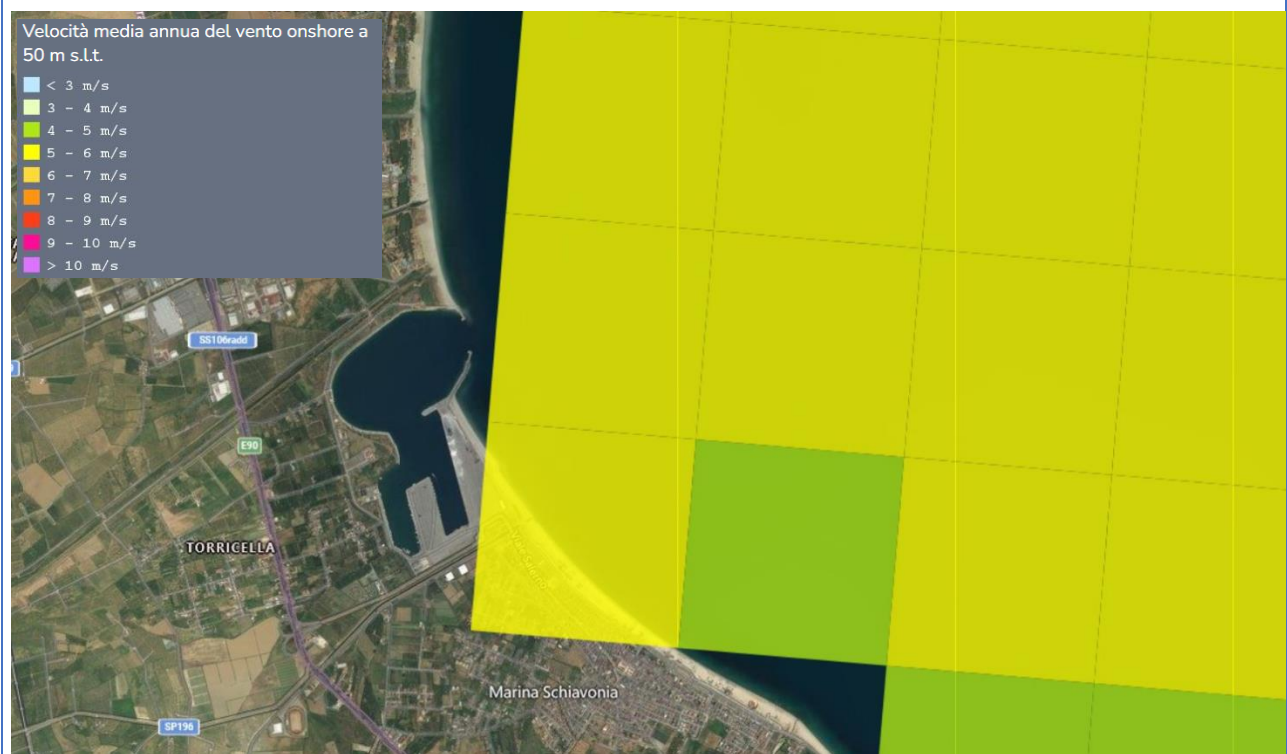


Figura 21 – Velocità media annua *off-shore* a 50 m s.l.m.

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

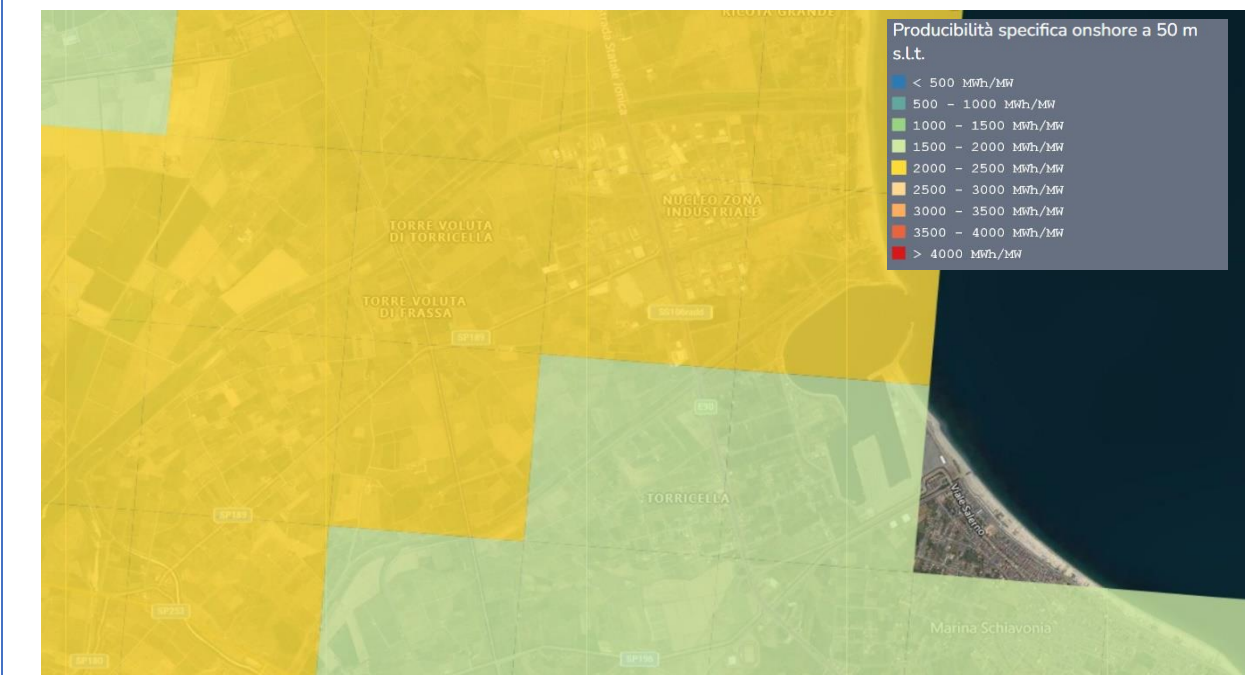


Figura 22 – Producibilità specifica *on-shore* a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

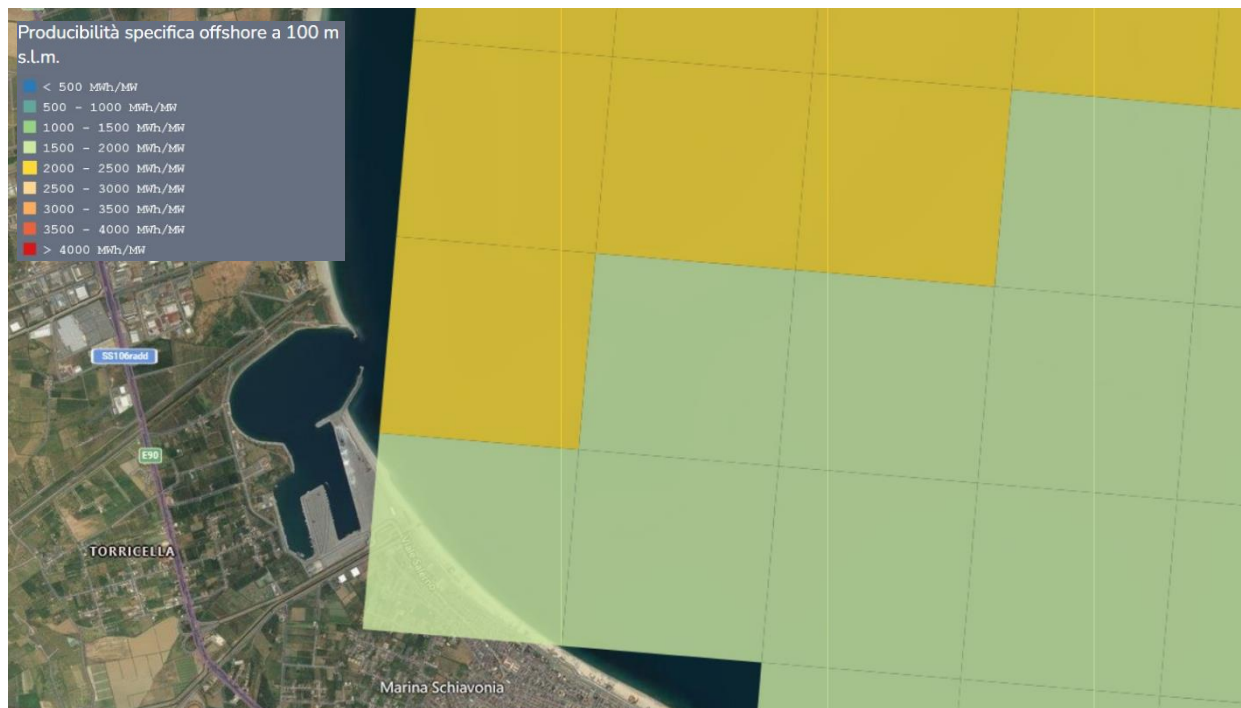


Figura 23 – Producibilità specifica *off-shore* a 100 s.l.m

Il sito di Corigliano Calabro risulta essere caratterizzato da una velocità media del vento compresa tra i **5 e i 6 m/s** sia in ambito *on-shore* che in quello *off-shore* ed una producibilità specifica compresa tra i **2.000 e i 2.500 MWh/MW** di impianto eolico installato.

3.1.5. Valutazione anemologica Porto di Taureana di Palmi

Nel presente paragrafo si riportano i risultati emersi dall'analisi dei dati anemologici registrati nel **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE con l'obiettivo di fornire informazioni sulla distribuzione generale delle risorse eoliche sul territorio italiano ed aiutare ad individuare le aree dove tali risorse possono essere interessanti per lo sfruttamento energetico. Nelle analisi sotto-riportate si è valutata la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).



Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

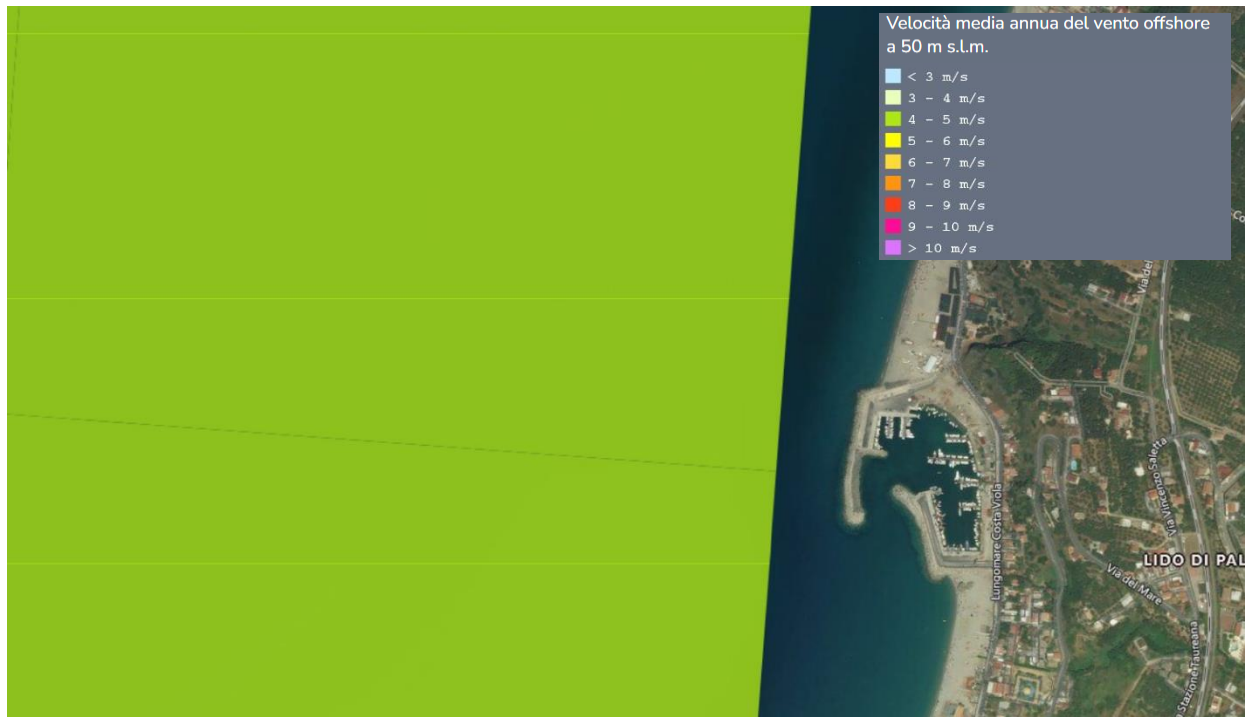


Figura 25 – Velocità media annua *off-shore* a 50 m s.l.m.

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

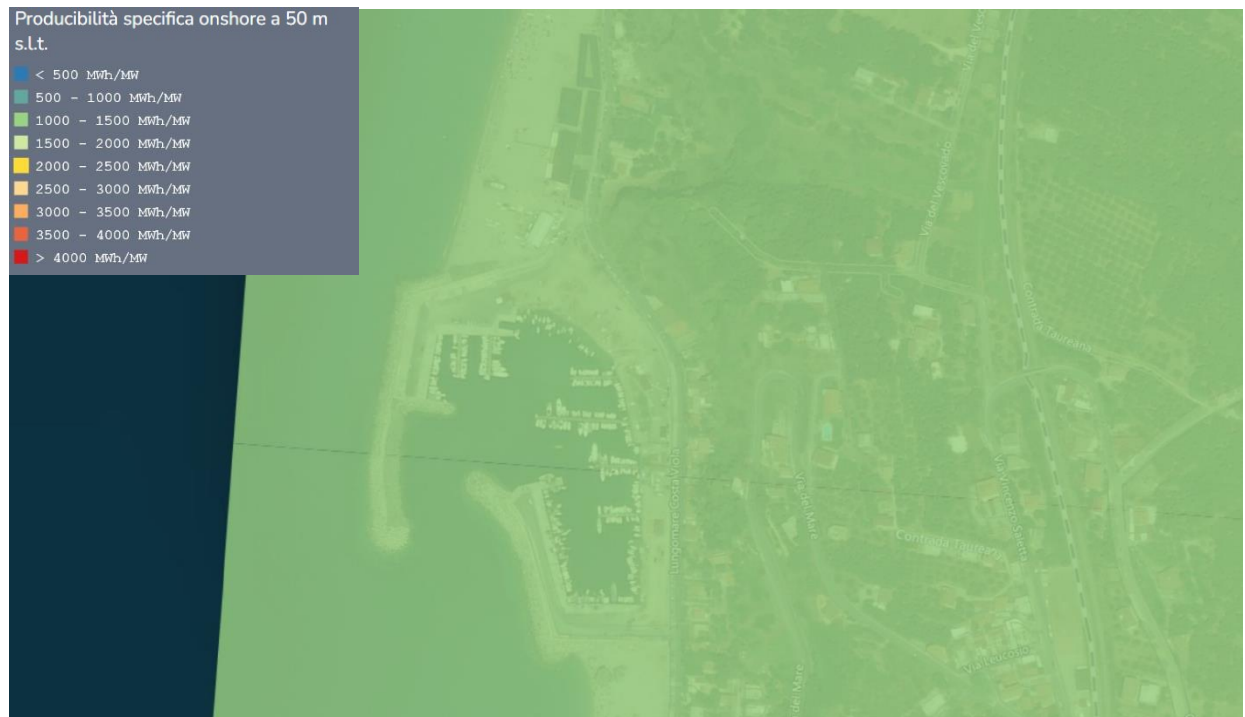


Figura 26 – Producibilità specifica *on-shore* a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

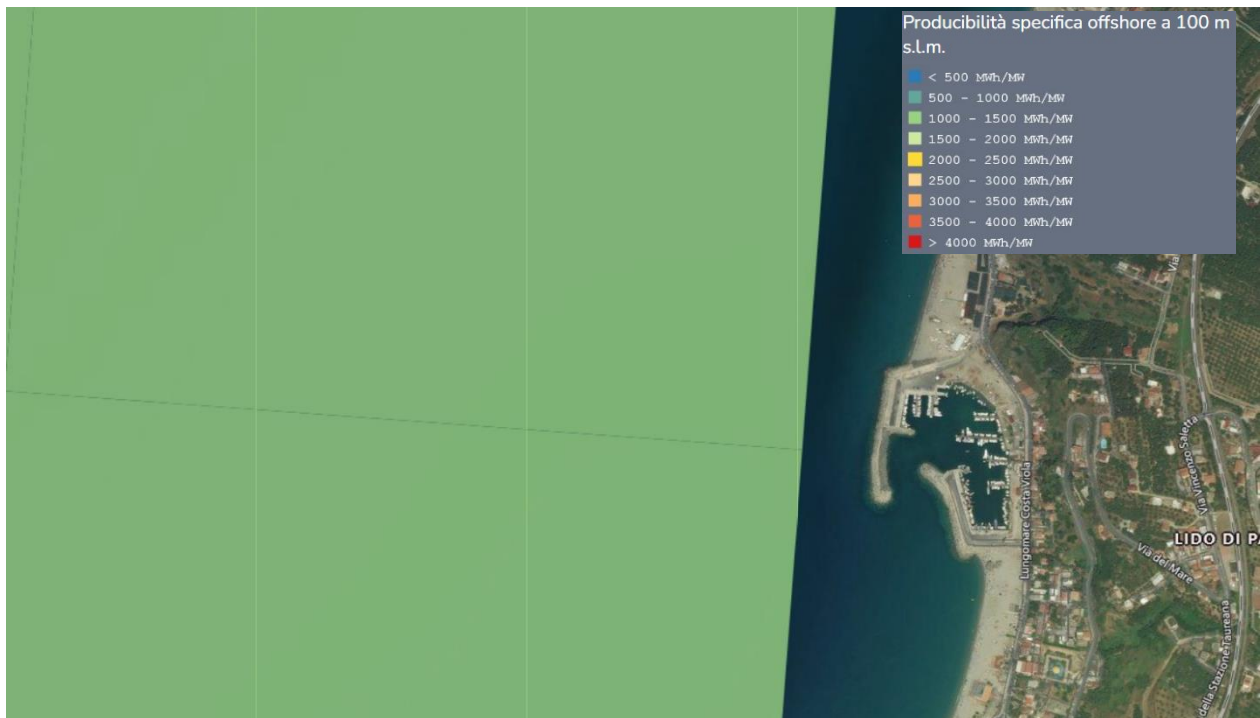


Figura 27 – Producibilità specifica *off-shore* a 100 s.l.m

Il sito di Taureana di Palmi risulta essere caratterizzato da una velocità media del vento compresa tra i **4 e i 5 m/s** sia in ambito *on-shore* che in quello *off-shore* ed una producibilità specifica compresa tra i **1.000 e i 1.500 MWh/MW** di impianto eolico installato.

3.1.6. Sintesi dei risultati dell'analisi di producibilità energia elettrica da impianti eolici

Le valutazioni anemologiche sopra-riportate mostrano la disponibilità della risorsa eolica e l'energia potenzialmente producibile per ciascun MW di potenza installato da impianti eolici nelle diverse aree portuali.

Si può notare come i porti che si affacciano sul mar Ionio siano quelli che presentano un potenziale più elevato, rispetto a quelli del mar Tirreno.

Area Portuale	On-shore a 50 m s.l.t		Off-shore a 50 m s.l.m	
	Velocità media del vento	Producibilità specifica	Velocità media del vento	Producibilità specifica
	[m/s]	[MWh/MW]	[MWh/anno]	[MWh/MW]
Porto di Gioia Tauro	5	1.000-1.500	5	1.000-1.500
Porto di Crotona	6	2.500-3.000	6	2.500-3.000
Porto di Vibo Valentia	5	1.000-1.500	4	1.000-1.500
Porto di Corigliano Calabro	6	2.000-2.500	6	2.000-2.500
Porto di Taureana di Palmi	5	1.000-1.500	5	1.000-1.500

Tabella 5 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da eolico

La presente analisi ha carattere estimativo e può essere utile a valutare futuri investimenti finalizzati all'implementazione di impianti di produzione di energia elettrica da eolico nelle aree portuali oggetto di intervento. Sarà necessario integrare quanto riportato nel Capitolo con opportune verifiche anemologiche utili a validare i dati storici e studiare più dettagliatamente le caratteristiche dei siti di installazione, approfondendo anche gli aspetti e vincoli amministrativi e paesaggistici.

3.2. Simulazione energetica impianto eolico nell'area portuale di Gioia Tauro

Considerata la disponibilità di dati anemologici più accurati e la significatività della domanda di energia elettrica del sito di Gioia Tauro, si è ritenuto opportuno procedere ad un approfondimento ulteriore. Si è quindi implementata una simulazione energetica di un potenziale impianto eolico da realizzarsi lungo la linea di costa, in un'area gestita dall'Autorità di Sistema e attualmente non interessata da attività produttive, terziarie o portuali.

Area individuata per la simulazione

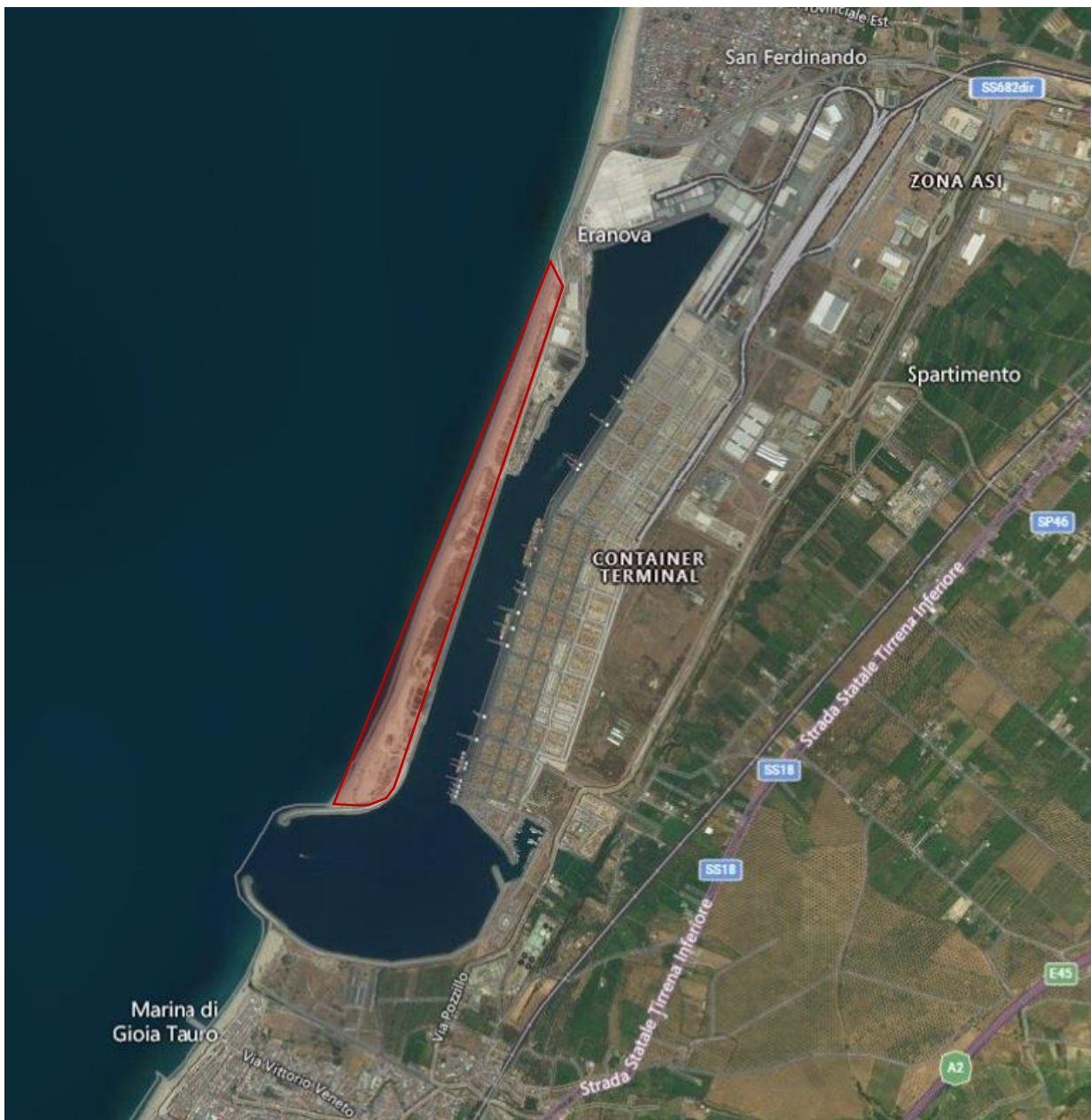


Figura 28 – Individuazione area potenziale sito di realizzazione impianto eolico

Dalle statistiche basate su osservazioni prese fra 01/2010 - 06/2013⁴ risulta una velocità del vento media di **5 m/s** su base annuale, coerente con i valori riportati nel paragrafo precedente e una direzione del vento prevalente proveniente da **Ovest**, come rappresentato nella figura sottostante.

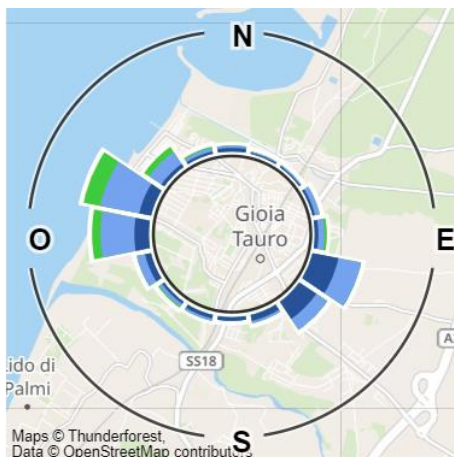


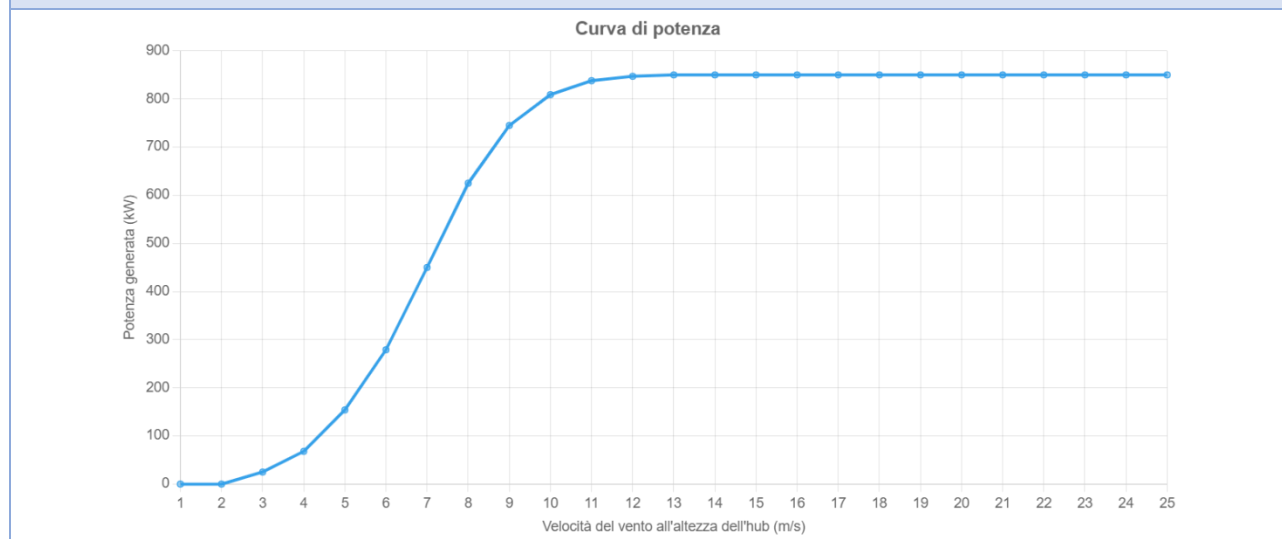
Figura 29 - Direzione del vento Gioia Tauro

Basandosi sui dati relativi a intensità e direzione del vento e all'area disponibile, nella presente simulazione si è ipotizzato di installare una serie di 11 aerogeneratori lungo la linea di costa ad una distanza trasversale di 3 volte il diametro del rotore, come previsto da normativa regionale e rivolti in direzione Ovest.

La simulazione è stata implementata attraverso il modulo di calcolo predisposto nel **Portale AEOLIAN** (Atlante Eolico Italiano) sviluppato dall'RSE, individuando un modello di aerogeneratore adatto alle caratteristiche anemologiche del sito analizzato.

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'aerogeneratore utilizzato nella simulazione:

Diametro rotore [m]	Altezza traliccio [m]	Potenza nominale [kW]	Velocità di <i>cut-in</i> [m/s]	Velocità nominale del vento [m/s]
76,6	65	850	3	11



⁴ Dati riportati dal portale winfinder.com per il sito di Gioia Tauro

Nella tabella sottostante si riportano invece i risultati della simulazione energetica relativa all'intero impianto eolico ipotizzato.

Numero aerogeneratori [-]	Potenza nominale complessiva [MW]	Producibilità annua [MWh]	Ore equivalenti di utilizzo [ore]	Copertura fabbisogno attuale energia elettrica Porto di Gioia Tauro [%]
11	9,35	12.300	1.848	47

Tabella 6 - Sintesi della simulazione energetica impianto eolico Gioia tauro

La presente analisi evidenzia ulteriormente il potenziale energetico dello sfruttamento della risorsa eolica nelle aree portuali e il suo ruolo nella transizione energetica di aree fortemente energivore.

4. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA MOTO ONDOSO

La realizzazione nei porti di impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile di piccola taglia può contribuire alla riduzione delle emissioni di CO₂ e dei prelievi di energia dalla rete elettrica nazionale.

Lo sfruttamento di energia da moto ondoso risulta essere particolarmente interessante in Italia sia per il suo sviluppo costiero e per il ridotto impatto ambientale di queste tecnologie sia per le incentivazioni finanziarie di cui gode l'energia prodotta da moto ondoso rispetto alle altre tecnologie di fonti rinnovabili.

Si riportano di seguito i principali sistemi in via di sperimentazione indirizzati allo sfruttamento energetico delle onde [3]:

- **Oscillating Water Column (OWC):** strutture parzialmente sommerse con una camera esterna e una interna comunicanti. Il livello dell'acqua varia nella camera esterna per l'azione del moto ondoso e induce un'analogia variazione nella camera interna dove una massa d'aria viene compressa e mette in movimento una turbina collegata ad un generatore elettrico.
- **Overtopping Devices o sistemi a tracimazione:** strutture galleggianti rigide che focalizzano le onde in modo da far riempire appositi serbatoi con un livello dell'acqua superiore a quello naturale. Il differenziale di energia potenziale che si stabilisce viene sfruttato con un flusso d'acqua forzato che mette in rotazione una turbina collegata ad un generatore elettrico.
- **Oscillating bodies o corpi galleggianti:** le onde incidenti provocano moti relativi tra segmenti di corpi galleggianti o immersi. I moti relativi sono impiegati da opportuni sistemi meccanici/idraulici per convertire energia meccanica in elettrica. Rientrano in questa classe i cosiddetti assorbitori puntuali (point absorbers), in cui il moto ondoso induce moti verticali che vengono convertiti con appositi generatori.

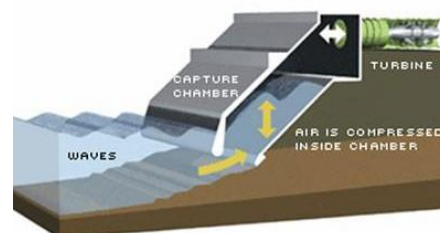


Figura 30 - Schema funzionamento Oscillating Water Columns

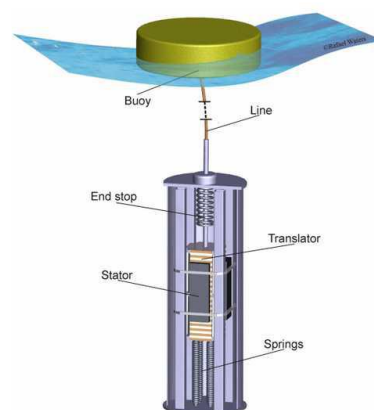


Figura 31 - Schema funzionamento Oscillating Bodies

Le strutture di tipo OWC sono installate a ridosso di strutture costiere sia naturali (scogliere) che da opere umane (es. barriere frangiflutti, dighe foranee), mentre le altre operano in mare aperto, vicino la costa oppure lontano da questa, dove la risorsa energetica è più regolare e prevedibile.

Altre tecnologie oggi in fase di field test sono:

- **ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter):** piattaforme galleggianti oscillanti (floating pitching converters, FPC), e le derivate IOWEC (Intentionum Offshore Wave Energy Converter), PEWEC (Pendulum Wave Energy Converter). Si tratta di dispositivi flottanti, installati con ormeggio lasco al fondale marino e auto-orientanti rispetto alla principale direzione di propagazione delle onde del mare. L'azione meccanica del moto ondoso induce un movimento oscillante dello scafo. Grazie alla presenza di un sistema di tipo inerziale, non vincolato alla struttura all'interno del galleggiante, si sviluppa un moto relativo che consente la conversione di energia meccanica in elettrica.
- **REWEC3:** dispositivo appartenente alla famiglia OWC (Oscillating Water Column), che rispetto ai tradizionali OWC, presenta migliorie sostanziali nella resa energetica dell'impianto e nella sua risposta all'azione delle onde che lo investono.
- **R115/H24:** dispositivo sviluppato dalla società italo/inglese 40 South Energy. Nel corso del 2015 un prototipo è stato varato nel Tirreno settentrionale.



Figura 32 - ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter)

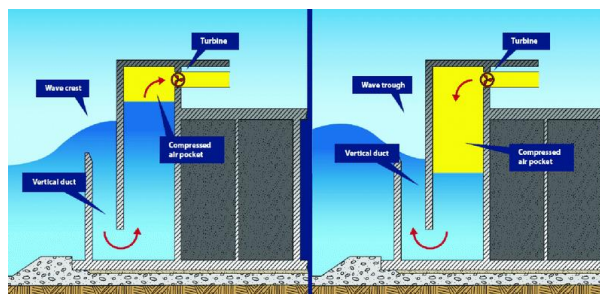


Figura 33 - Progetto REWEC3

Il potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane è molto vario con differenze significative anche in aree limitrofe, come evidenziato nel documento “Valutazione del potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane” [4]. Tale potenziale è massimo lungo la costa ovest della Sardegna (Flusso medio energia: 12 kW/m) e Nord-occidentale della Sicilia (Flusso medio energia: 7 kW/m), mentre la costa Adriatica ha un potenziale minore compreso tra i 2 e 3 kW/m.

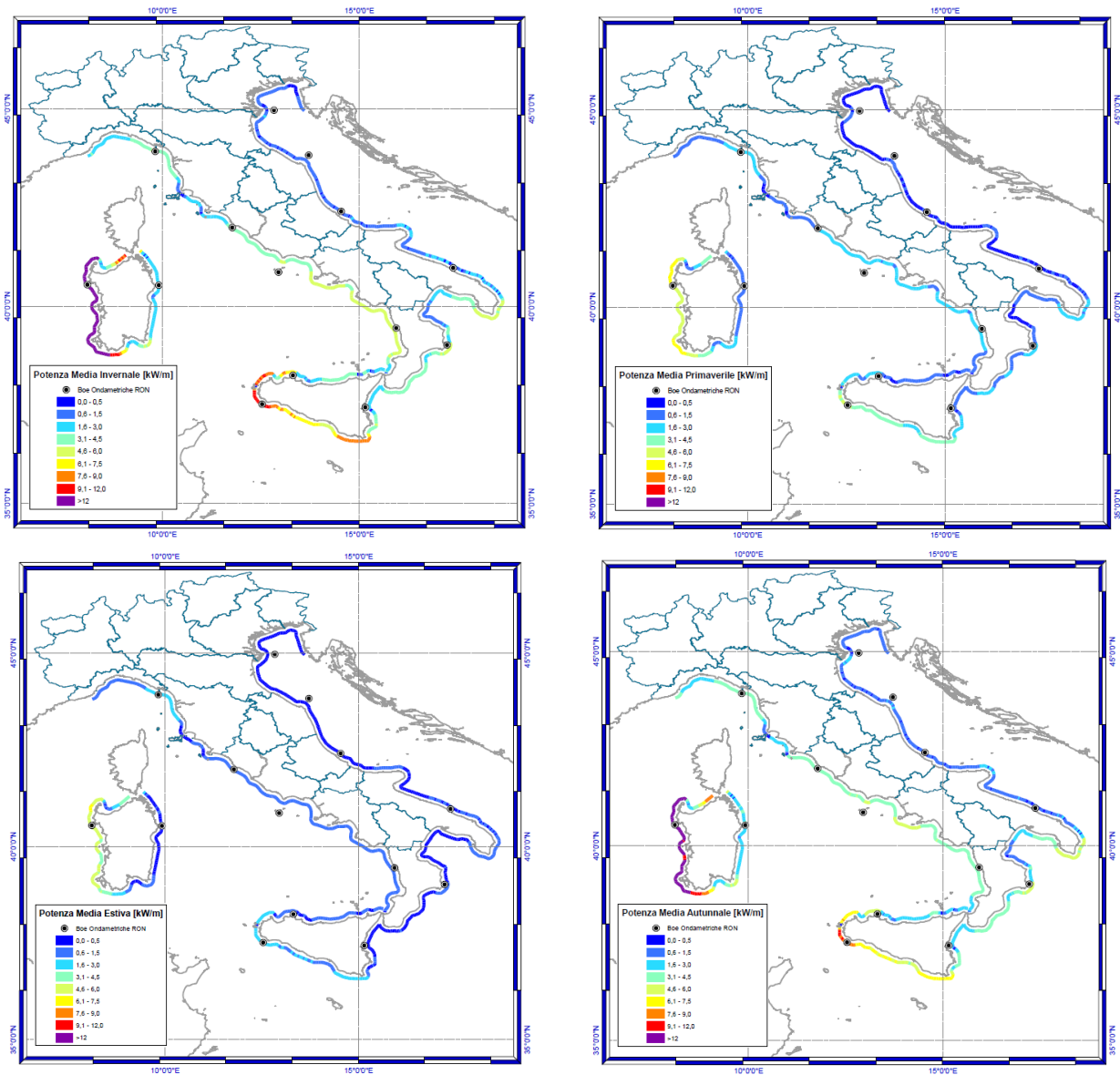


Figura 34 - Potenziale energetico medio calcolato (in kW/m). Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010 (Fonte: ENEA)

In particolare, si riportano di seguito le simulazioni implementate nello studio di ENEA relativamente all'area tirrenica meridionale (stazione di Cetraro – CS) e ionica (stazione di Crotona – KR).

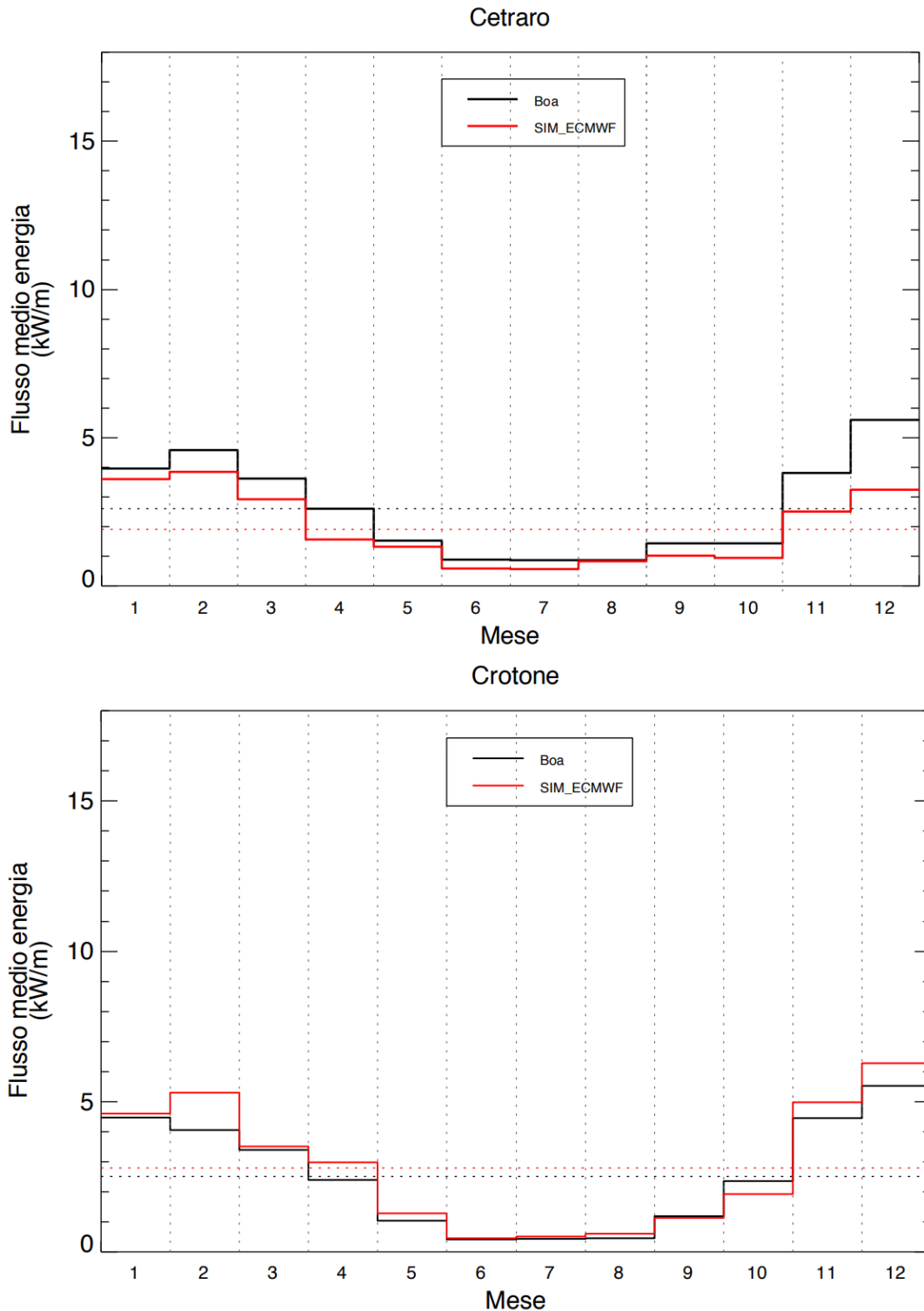


Figura 35 - Flusso medio di energia in funzione del mese tra il valore misurato dalla boa (linea nera) e la simulazione SIM_ECMWF (linea rossa) per le stazioni di Cetraro e Crotona. Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010. Le linee orizzontali tratteggiate corrispondono al flusso medio annuale. (Fonte ENEA)

Dai dati sopra-riportati si evince che il potenziale energetico degli ambiti portuali oggetti di analisi risulta essere piuttosto limitato.

Si potrebbe, tuttavia, valutare l'installazione di sistemi di generazione di energia da moto ondoso integrati nelle dighe foranee e nelle strutture di difesa costiera delle aree portuali. Tali integrazioni potrebbero costituire una valida soluzione per ridurre gli elevati costi delle tecnologie da moto ondoso ed essere implementati contestualmente ad altri interventi da realizzarsi sulle opere di sbarramento e difesa costiere.

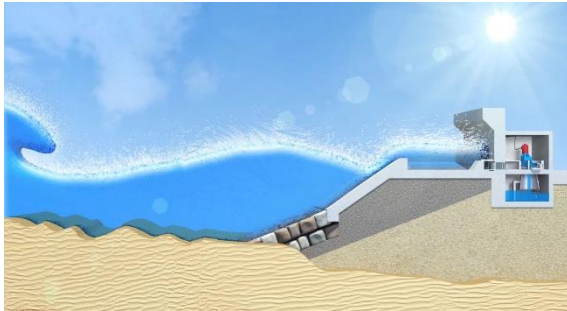


Figura 36 - Progetto DIMEMO (Diga Marittima per l'Energia del Moto Ondoso)

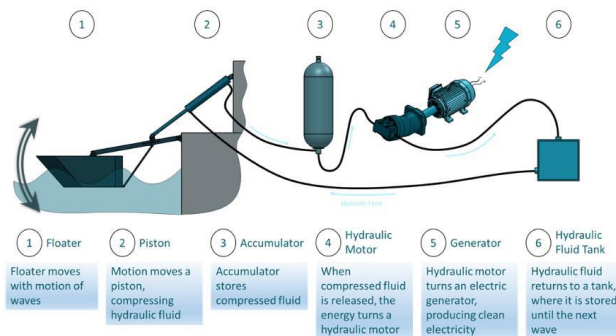


Figura 37 - Componenti del sistema Eco Wave Power

5. IL RUOLO DELL'IDROGENO NELL'ECOSISTEMA PORTUALE

Attualmente il 2.5% delle emissioni annue globali di CO₂ è generato dal trasporto marittimo e si stima che questo dato possa aumentare del 50% entro il 2050. Una quota significativa di queste emissioni viene generata durante la permanenza delle navi in porto e dalle operazioni di carico e scarico: nello specifico, le emissioni annue di CO₂ associate a queste fasi sono pari a circa 20 Mton e si prevede che possano raggiungere le 70 Mton entro il 2050 [5].

Appare quindi evidente come la decarbonizzazione delle aree portuali attraverso l'adozione di soluzioni low-carbon per il trasporto marittimo e la movimentazione delle merci rappresenti senza dubbio una delle tappe fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi climatici fissati per il 2030 e il 2050.

In questo scenario, l'idrogeno verde potrà fornire un contributo fondamentale al processo di transizione energetica grazie alla sua notevole versatilità e alla possibilità di realizzare il cosiddetto *sector coupling*, cioè l'integrazione tra diverse fonti di energia e molteplici usi finali. Infatti, secondo quanto riportato dall'International Energy Agency (IEA) nel report "Global Hydrogen Review 2022", i porti possono rappresentare degli *hydrogen hubs*, cioè delle realtà in cui coesistono diversi potenziali utilizzi dell'idrogeno quali ad esempio il trasporto stradale heavy-duty, il trasporto navale, la movimentazione dei carichi (cargo handling equipment) e l'alimentazione di altre attrezzature portuali [6]. In un'ottica ancora più ampia, i porti possono diventare anche uno dei fulcri delle *hydrogen valleys*, cioè aree territoriali più estese in cui si concentrano produzione, distribuzione e utilizzo di idrogeno in applicazioni industriali (e.g., industria chimiche, siderurgiche e raffinerie) e mobilità (e.g., trasporto pubblico locale, logistica, cargo handling e mezzi privati) [6].

Infatti, secondo il **Piano europeo REPowerEU**, lo sviluppo delle infrastrutture portuali e il loro collegamento alle vicine utenze industriali e della mobilità potranno essere di cruciale importanza per determinare un aumento significativo della domanda di idrogeno verde in Europa fino a raggiungere 20 milioni di tonnellate annue entro il 2030 (10 Mton prodotte in Europa e 10 Mton importate). In questo contesto, i porti potranno sfruttare l'energia elettrica rinnovabile prodotta dagli impianti installati on-shore ed off-shore per alimentare degli elettrolizzatori e generare idrogeno verde on-site. Inoltre, i porti potranno ricoprire un ruolo chiave anche nello sviluppo delle tratte per l'import-export di grandi quantità di idrogeno che potrà essere prodotto in aree geografiche caratterizzate da un elevato potenziale di energie rinnovabili (i.e., eolico e fotovoltaico) e trasportato via nave verso le aree di maggior consumo, ad esempio i grandi poli dell'industria chimica. Questi scenari sono stati analizzati in dettaglio nel report "Study on hydrogen in ports and industrial coastal areas" redatto da Deloitte Belgium Energy and Climate per la Clean Hydrogen Partnership: tale studio fornisce delle previsioni di domanda e offerta di idrogeno verde nelle aree portuali al 2030, 2040 e 2050 evidenziando l'importanza dell'intera catena del valore e tracciando delle roadmap per gli investimenti necessari per la diffusione di questa tecnologia in ambiente portuale [7].

Tra i potenziali utilizzi dell'idrogeno nel settore portuale citati in precedenza, i cargo handling equipment (CHE) e il trasporto pesante a lunga percorrenza rappresentano senza dubbio i più promettenti, mentre le applicazioni nel trasporto marittimo sono ancora in fase dimostrativa e non esistono soluzioni disponibili in commercio [4]. Nello specifico, i mezzi per la movimentazione delle merci (e.g., yard trucks, forklifts, container movers e rubber-tyred gantry cranes), che attualmente utilizzano combustibili fossili e generano notevoli emissioni di CO₂ ed altri inquinanti, possono essere alimentati da sistemi a fuel cell ad idrogeno in

grado di garantire elevata autonomia e affidabilità. A conferma di ciò, l'IEA riporta che alla fine del 2021 è entrata in funzione nel porto di Shanghai la prima mobile crane ad idrogeno alimentata da una fuel cell.

Inoltre, entro la fine del 2022 è prevista la consegna di una rubber tyre gantry crane alimentata ad idrogeno al Kobe International Container Terminal (Giappone) e un'altra dovrà essere consegnata al porto di Los Angeles (USA) con l'obiettivo di entrare in funzione a partire dalla seconda metà del 2024 [6].

Il porto di Valencia, nell'ambito del progetto H2PORTS, testerà un reach stacker e un terminal tractor alimentati ad idrogeno e riforniti da una stazione di ricarica mobile opportunamente progettata per garantire un servizio continuo ai mezzi [9].



Figura 38 - Sito dimostrativo nel porto di Valencia e terminal tractor sviluppato nel progetto H2PORTS

ENEA, partner del progetto H2PORTS, afferma che i terminal tractors impiegati in un terminal portuale di medie dimensioni sono in funzione per 19.800 ore annue e consumano quasi 190.000 litri di diesel: considerando un fattore emissivo medio di 2.7 kg di CO₂ per litro di diesel, l'utilizzo di mezzi ad idrogeno permetterebbe di evitare l'emissione di circa 500 ton di CO₂.

Infine, l'IEA riporta che il porto di Anversa prevede di iniziare ad utilizzare un terminal tractor ad idrogeno nel 2023 e che più di 100 veicoli a fuel cell (tra cui container stacker, camion e van) dovranno entrare in funzione nel porto di Amburgo per raggiungere gli ambiziosi target di decarbonizzazione [6].

I veicoli heavy-duty alimentati ad idrogeno sono caratterizzati da elevate autonomie, tempi di ricarica paragonabili ai mezzi convenzionali e payload notevolmente superiori rispetto ai veicoli alimentati a batterie. Queste caratteristiche li rendono particolarmente adatti per lo spostamento di merci su lunghe distanze e per applicazioni nel settore della logistica. È quindi ragionevole ipotizzare che in futuro esisterà una stretta connessione tra le diverse modalità di trasporto (e.g., navale e stradale) con un numero considerevole di veicoli ad idrogeno in circolazione nelle aree portuali.

Infine, per quanto riguarda l'utilizzo dell'idrogeno nel trasporto marittimo, la Getting to Zero Coalition ha identificato numerosi progetti in corso: 45 prototipi ad idrogeno sono attualmente utilizzati in applicazioni dimostrative principalmente su brevi distanze [6], [8].

Appare quindi evidente come in futuro i porti debbano essere dotati di un'opportuna infrastruttura per il rifornimento dei mezzi pesanti in transito nell'area portuale, dei cargo handling equipment impiegati nelle fasi di carico, scarico e trasferimento delle merci ed eventualmente dei prototipi di imbarcazioni a fuel cell. Proprio per tale ragione alcuni porti hanno già iniziato a dotarsi di stazioni di rifornimento (Hydrogen

Refuelling Stations, HRS). Nello specifico, CMB.TECH ha inaugurato nel 2021 la prima stazione di rifornimento multimodale nel porto di Anversa, Air Products sta costruendo nel porto di Rotterdam una stazione di rifornimento per camion che entrerà in funzione nel 2023 e Shell ha realizzato due high-capacity HRS nel porto di Los Angeles [6].

5.1. Lo sviluppo del vettore idrogeno in Italia

Sebbene le attività di ricerca sull'idrogeno in Italia si siano sviluppate da molto tempo, negli ultimi 15 anni si è assistito ad un progressivo disimpegno per quanto riguarda le attività di ricerca industriale, mentre il presidio della conoscenza sulle tecnologie della filiera è rimasto a carico del sistema della ricerca che ha continuato ad operare soprattutto grazie ai progetti sostenuti in ambito europeo.

Negli ultimi 3-4 anni si è assistito in Italia ad un forte ritorno di interesse per la tematica idrogeno da parte delle industrie, a seguito dell'inserimento di questo vettore tra le opzioni europee di maggior interesse nel percorso di decarbonizzazione.

Con il PNRR l'Italia ha varato una serie di programmi di supporto all'avvio della filiera industriale con investimenti dell'ordine dei 3,4 MLD di Euro, articolati in diverse direttrici:

- R&S
- Produzione di idrogeno verde (hydrogen valleys)
- Creazione della rete di distribuzione dell'idrogeno per uso stradale
- Uso dell'idrogeno in ambito ferroviario
- Impiego dell'idrogeno nei settori industriali "hard-to-abate"
- Uso dell'idrogeno nel trasporto pubblico

Contemporaneamente l'utilizzo dell'idrogeno verde come elemento costitutivo di catene del valore per la produzione di combustibili alternativi inserisce questo vettore nelle strategie di decarbonizzazione di comparti molto rilevanti quali il trasporto aereo e marittimo.

Ad oggi le iniziative in corso in Italia nell'ambito del PNRR sono riassunte nella seguente tabella:

<i>Investimento PNRR</i>	<i>Avanzamento a maggio 2023</i>
<i>M2C2 R 3.1 – Semplificazione amministrativa e riduzione degli ostacoli normativi alla diffusione dell'idrogeno</i>	In corso
<i>M2C2 R 3.2 – Misure volte a promuovere la competitività dell'idrogeno</i>	Incentivi fiscali approvati
<i>M2C2 I 3.1 – Produzione in aree industriali dismesse (hydrogen valleys)</i>	48 Progetti aggiudicati
<i>M2C2 I 3.5 - Ricerca e sviluppo sull'idrogeno</i>	Progetti aggiudicati
<i>M2C2 I 3.2 – Utilizzo dell'idrogeno in settori hard-to-abate</i>	Bando aperto
<i>M2C2 - I 5.2 Idrogeno - sviluppo elettrolizzatori</i>	Aggiudicato (IPCEI)
<i>M2C2. I 3.3 – Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale*</i>	36 stazioni di rifornimento presentate
<i>M2C2. I 3.4 -Sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto ferroviario (rifornimento)</i>	Fondi assegnati
<i>M2C2 I 4.4.1 - Rinnovo del parco autobus regionale</i>	Fondi assegnati (no bus H2)
<i>M2C2 I 4.4.2 - Rinnovo del parco ferroviario regionale - treni</i>	Bandi in apertura

Tabella 7 - Iniziative PNRR sul tema idrogeno

Oltre al PNRR è importante ricordare il recente sviluppo dell'iniziativa **South2 Corridor** che vede impegnati i governi di Italia, Austria e Germania per la realizzazione e gestione di un gasdotto idoneo al trasporto di idrogeno, in grado di veicolare idrogeno verde prodotto in Nord Africa (Tunisia), attraverso l'Italia fino in Austria e Germania del Sud.

I Ministeri dell'Energia di Italia, Austria e Germania hanno firmato recentemente una lettera congiunta di sostegno politico per lo sviluppo di un "corridoio meridionale dell'idrogeno" nell'Unione Europea e per l'ottenimento dello status di Progetto di Interesse Comune (PCI) da parte dei rispettivi progetti infrastrutturali (per l'Italia proposto da SNAM).

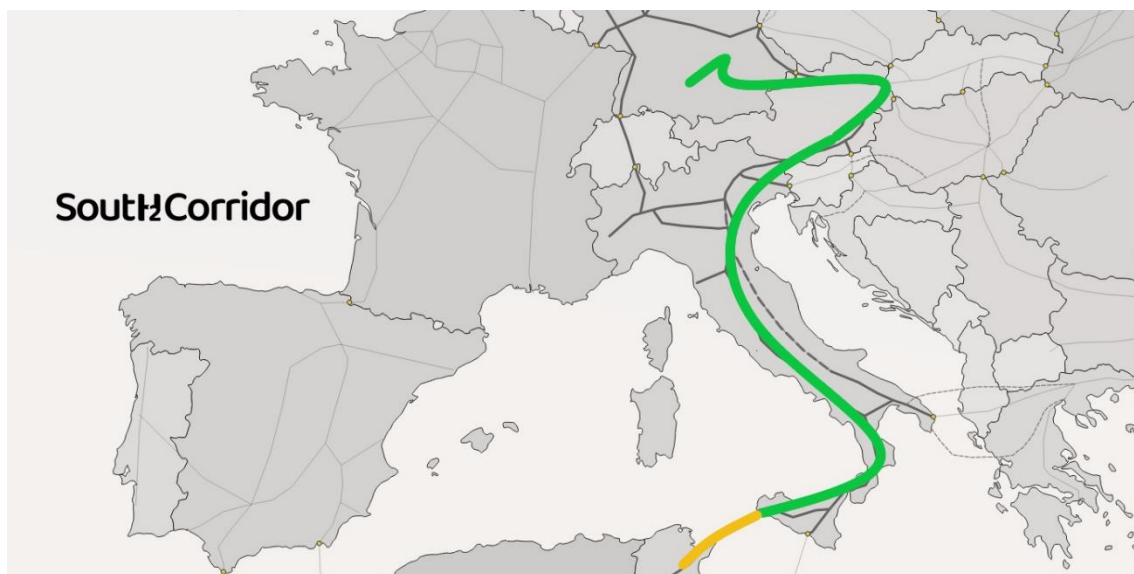


Tabella 8 - Tratto progetto South2 Corridor (Tunisia-Germania)

È importante infine evidenziare che il sistema incentivante necessario per la diffusione del vettore idrogeno nel sistema energetico sta evolvendo da un modello completamente centrato sul supporto agli investimenti (CAPEX) ad un sistema misto che sia in grado di riconoscere un valore all'idrogeno scambiato sul mercato in modo da contenere il gap di prezzo e intervenire sull'OPEX.

A livello europeo è previsto entro il 2023 il lancio, da parte della Hydrogen Bank europea, della prima asta pilota che assegnerà un sussidio ai produttori nella forma di un premio fisso per ogni Kg di idrogeno prodotto, per un massimo di 10 anni di operatività del progetto. Il budget assegnato a questa iniziativa è di 800 MEuro. Sulla base di questa esperienza, si prevede la strutturazione di un sistema incentivante stabile in grado di fornire il quadro di riferimento necessario agli investimenti industriali.

5.2. Iniziative regionali

Oltre al coinvolgimento del territorio per ragioni geografiche sul tracciato del South2 Corridor, in Calabria le seguenti iniziative sono state ammesse a finanziamento sul PNRR:

- M2C2 I 3.1 - Impianto di produzione di idrogeno verde in centrale ENEL Corigliano Rossano: finanziamento da 14,7 MEuro
- M2C2 I 3.1 - Impianto di produzione idrogeno verde a Lamezia: circa 7 MEuro (Teca Gas)
- M2C2 I 3.3 - Impianto di distribuzione a Lamezia: contributo di circa 2 MEuro (Teca Gas)
- M2C2. I 3.4 Treni a idrogeno (fuel cells): Ferrovie della Calabria ha assegnato l'appalto per la fornitura di 6 treni a idrogeno (appaltatore Stadler)
- M2C2. I 3.4 Treni a idrogeno: Ferrovie della Calabria ha pubblicato il bando per l'affidamento in appalto della progettazione e realizzazione dell'impianto di produzione, stoccaggio e rifornimento di idrogeno presso il deposito ferroviario di Cosenza Vaglio Lise (importo circa 33 MEuro) – Elettrolizzatore da 7,5 MW.

Da questi risultati emerge un ecosistema regionale che ha espresso iniziative importanti in materia di investimenti sull'idrogeno. Il contesto che quindi si verrà a creare vedrà una presenza significativa di impianti di produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno sul territorio, ponendo basi concrete per valutare possibili applicazioni di questo gas in ambito portuale potenzialmente in grado di creare sinergie in una logica di hydrogen valley.

5.3. Possibili impieghi dell'idrogeno nel sistema portuale

La decarbonizzazione delle aree portuali si configura come un processo complesso che richiede di implementare in modo sinergico diverse soluzioni low-carbon: tra queste l'idrogeno può giocare un ruolo fondamentale viste le caratteristiche peculiari dei porti e in modo specifico la simultanea presenza di diversi potenziali usi finali.

Una valutazione iniziale di possibili impieghi dell'idrogeno negli ambiti portuali dell'Autorità potrebbe articolarsi sulle seguenti direttrici:

1. Alimentazione veicoli terrestri per la logistica:
 - Handling (reach stacker, shunter ferroviari, gru, ...)
 - Autocarri
 - Unità mobili per la ricarica di mezzi elettrici a batteria da movimentare nel terminal
2. Usi energetici
 - Stoccaggio energia rinnovabile in eccesso
 - Servizi di continuità elettrica di lunga durata
3. Alimentazione nautica
 - Idrogeno su imbarcazioni di dimensioni contenute

Nel primo caso (1 - idrogeno come combustibile per veicoli terrestri), si prefigura un inserimento graduale di veicoli a idrogeno per i diversi utilizzi all'interno e all'esterno dell'area portuale.

Tali veicoli a emissioni zero, che dovrebbero essere impiegati dai concessionari per le loro attività, contribuirebbero agli obiettivi di riduzione delle emissioni in area portuale e richiederebbero l'installazione di una infrastruttura di distribuzione (refueling) all'interno delle aree portuali interessate. L'idrogeno potrebbe essere quindi trasportato alla refueling station a partire dagli impianti di produzione più vicini (contribuendo a ottimizzare la funzionalità degli stessi) oppure prodotto in loco da un impianto dedicato se il fabbisogno in ambito portuale dovesse crescere.

In questo scenario sarebbe necessario approfondire l'offerta di mezzi a idrogeno (a fuel cell o a combustione interna) che i diversi costruttori di veicoli hanno in programma nella loro roadmap di decarbonizzazione, partendo dalla considerazione che la decarbonizzazione di veicoli pesanti vede nell'idrogeno un'opzione tecnologica di forte interesse.

Nel secondo caso (2 - usi energetici) andrebbe valutato l'utilizzo dell'idrogeno in stretta connessione con gli impianti di produzione di energia da RES addizionali previsti a piano; in questa situazione andrebbe studiata l'opportunità di sfruttare le potenzialità di questo vettore come sistema di accumulo energetico da fonte discontinua, da abbinare ad utilizzi per la mobilità (vedi sopra), di produzione energetica off-grid se e dove necessaria oppure per la iniezione in miscela nella rete del gas naturale qualora le analisi economiche ne evidenziassero una fattibilità.

L'ultimo caso (3) rappresenta una domanda di idrogeno integrativa rispetto a quelle precedenti, per la quale andrebbero valutati possibili utilizzi dell'idrogeno come combustibile nautico per imbarcazioni di piccole dimensioni (servizi portuali ovvero da diporto). In questo caso si renderebbero necessarie infrastrutture di

refueling per imbarcazioni tramite le quali rifornire con idrogeno prodotto o in situ oppure presso gli impianti più vicini.

In conclusione, partendo da un eco-sistema nazionale e regionale di attori che stanno avviando iniziative e investimenti in materia di idrogeno e dalle potenzialità che questo vettore presenta in termini di contributo al processo di decarbonizzazione, si evidenzia l'opportunità di approfondire le valutazioni necessarie a definire un possibile ruolo dell'Autorità portuale nello sviluppo della catena del valore dell'idrogeno in Calabria e a livello nazionale.

A partire dalle brevi considerazioni preliminari sopra esposte, si evidenzia che l'implementazione del vettore idrogeno in ambito portuale necessita di:

- Analisi che consentano di evidenziare il massimo grado di integrazione di utilizzi all'interno dell'area (casi 1, 2 e 3);
- Analisi che consentano di integrare in modo sinergico le iniziative in ambito portuale con altre applicazioni sul territorio (impianti di distribuzione su strada, usi ferroviari, applicazioni industriali) esterne all'ambito portuale;
- Inserimento dell'Autorità Portuale nell'eco-sistema (almeno nazionale) che segue l'implementazione del vettore idrogeno al fine di monitorare in continuità le best practices in corso di sviluppo;
- Approfondimenti relativi ai sistemi finanziari incentivanti (CAPEX/OPEX) per rendere sostenibili i business cases individuati considerando i diversi attori in gioco (AdSP, concessionari, operatori esterni);
- Partnership tecnologiche solide in grado di supportare l'inserimento di soluzioni ancora non completamente mature

Bibliografia e sitografia

- [1] Linee guida per la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetica e Ambientale dei Sistemi Portuali (DEASP), D.lgs. 17 dicembre 2018 n.408, Direzione Generale per il Clima e l'Energia (CLE) – MATTM - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, MIT – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- [2] PIANO NAZIONALE INTEGRATO PER L'ENERGIA E IL CLIMA (PNIEC), Ministero dello Sviluppo Economico Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Dicembre 2019.
- [3] *"DECARBONIZZAZIONE DELL'ECONOMIA ITALIANA - Il Catalogo delle tecnologie energetiche"*, 2017 a cura di ENEA, CNR e RSE in Appendice – Parte 9)
- [4] G. Sannino, A. Carillo, A. Bargagli, E. Caiaffa, E. Lombardi (ENEA), P. Monti, G. Leuzzi (Università di Roma La Sapienza, DICEA), *"Valutazione del potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane"*, Report Ricerca Sistema Elettrico (ENEA), settembre 2011
- [5] G. di Ilio, P. di Giorgio, L. Tribioli, V. Cigolotti, G. Bella, and E. Jannelli, "Assessment of a Hydrogen-Fueled Heavy-Duty Yard Truck for Roll-On and Roll-Off Port Operations," in SAE Technical Papers, SAE International, Sep. 2021. doi: 10.4271/2021-24-0109.
- [6] International Energy Agency (IEA), "Global Hydrogen Review 2022," 2022. [Online]. Available: www.iea.org/t&c/
- [7] Deloitte Belgium Energy and Climate, "Study on hydrogen in ports and industrial coastal areas Report 1," 2023, doi: 10.2843/90661.
- [8] International Energy Agency (IEA), "Global Hydrogen Review 2021." [Online]. Available: www.iea.org/t&c/
- [9] "H2PORTS." <https://h2ports.eu/> (accessed Nov. 28, 2022)

Indice delle figure

Figura 1 – Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili su coperture e superfici a terra.....	8
Figura 2 - Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili sulle coperture degli edifici.....	10
Figura 3 - Producibilità annua di energia elettrica da impianti fotovoltaici potenzialmente installabili sulle coperture degli edifici.....	13
Figura 4 - Ripartizione del potenziale fotovoltaico tra le tre aree portuali del Sistema Portuale MTMI.....	14
Figura 5 - Esempi turbine ad asse orizzontale e ad asse verticale (Fonte: FIRE).....	15
Figura 6 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento	17
Figura 7 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t.....	18
Figura 8 –Velocità media annua del vento off-shore a 50 m s.l.m.....	18
Figura 9 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	19
Figura 10 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m.....	19
Figura 11 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento	21
Figura 12 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t.....	22
Figura 13 – Velocità media annua off-shore a 50 m.s.l.m.....	22
Figura 14 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	23
Figura 15 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m.....	23
Figura 16 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t.....	25
Figura 17 – Velocità media annua off-shore a 50 m s.l.m.....	26
Figura 18 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	26
Figura 19 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m.....	27
Figura 20 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t.....	28
Figura 21 – Velocità media annua off-shore a 50 m s.l.m.....	29
Figura 22 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	29
Figura 23 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m.....	30
Figura 24 – Velocità media annua del vento on-shore a 50 m s.l.t.....	31
Figura 25 – Velocità media annua off-shore a 50 m s.l.m.....	32
Figura 26 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	32
Figura 27 – Producibilità specifica off-shore a 100 s.l.m.....	33
Figura 28 – Individuazione area potenziale sito di realizzazione impianto eolico	35
Figura 29 - Direzione del vento Gioia Tauro.....	36
Figura 30 - Schema funzionamento Oscillating Water Columns.....	38
Figura 31 - Schema funzionamento Oscillating Bodies	38
Figura 32 - ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter).....	39
Figura 33 - Progetto REWEC3	39
Figura 34 - Potenziale energetico medio calcolato (in kW/m). Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010 (Fonte: ENEA).....	40

- Figura 35 - Flusso medio di energia in funzione del mese tra il valore misurato dalla boa (linea nera) e la simulazione SIM_ECMWF (linea rossa) per le stazioni di Cetraro e Crotona. Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010. Le linee orizzontali tratteggiate corrispondono al flusso medio annuale. (Fonte ENEA)41
- Figura 36 - Progetto DIMEMO (Diga Marittima per l'Energia del Moto Ondoso) 42
- Figura 37 - Componenti del sistema Eco Wave Power..... 42
- Figura 38 - Sito dimostrativo nel porto di Valencia e terminal tractor sviluppato nel progetto H2PORTS..... 44

Indice delle tabelle

Tabella 1 -Risultati dell'analisi per il Porto di Gioia Tauro.....	9
Tabella 2-Risultati dell'analisi per il Porto di Crotona.	11
Tabella 3 -Risultati dell'analisi per il Porto di Vibo Valentia.....	13
Tabella 4 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico.....	14
Tabella 5 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da eolico.....	34
Tabella 6 - Sintesi della simulazione energetica impianto eolico Gioia tauro.....	37
Tabella 7 - Iniziative PNRR sul tema idrogeno.....	46
Tabella 8 - Tratto progetto SouthH2 Corridor (Tunisia-Germania)	47

